Universidade Católica de Santos

Mestrado em Saúde Coletiva

ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CRIANÇAS, ADOLESCENTES E IDOSOS NA CIDADE DE CUBATÃO ENTRE 1997 E 2004

RENATA JASINSKI DE ARRUDA

Santos
2008

Universidade Católica de Santos

Mestrado em Saúde Coletiva

ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CRIANÇAS, ADOLESCENTES E IDOSOS NA CIDADE DE CUBATÃO ENTRE 1997 E 2004

RENATA JASINSKI DE ARRUDA

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Saúde Coletiva da Universidade Católica de Santos como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Saúde Coletiva.
Área de concentração: Meio Ambiente e Saúde
Orientador: Prof. Dr. Alfésio Luís Ferreira Braga

Santos
2008

Resumo

ARRUDA, R. J. **ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CRIANÇAS, ADOLESCENTES E IDOSOS NA CIDADE DE CUBATÃO ENTRE 1997 E 2004.** Santos, 2008. 94p. Dissertação de Mestrado em Saúde Coletiva – Universidade Católica de Santos.

A poluição atmosférica tem sido um dos maiores problemas enfrentados em regiões industriais e nos grandes centros urbanos desde a revolução industrial. Desde a primeira metade do século XX este problema tem se agravado. Cubatão é, reconhecidamente, uma das áreas mais poluídas devido às emissões das diferentes plantas do pólo industrial. Apesar da redução parcial nos níveis de poluentes observada na última década, o crescimento da frota de veículos que circulam pela região contribui para alterar as características dos contaminantes do ar. Este estudo tem como objetivo estimar os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre as doenças respiratórias em crianças, adolescentes e idosos. Foram coletados dados de internações hospitalares por doenças respiratórias (Código Internacional de Doenças em suas 9ª e 10ª Revisões: 460-519 e J00-J99), de moradores de Cubatão, fornecidos pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde - DATASUS, para o período de 1997 a 2004. As concentrações dos poluentes do ar (PM_{10}, NO_2, SO_2 e ozônio) foram fornecidas pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, juntamente com os valores diários de temperatura mínima e umidade relativa do ar. Para estimar os efeitos da variação diária na concentração dos poluentes sobre os desfechos de

interesse foram utilizados modelos lineares generalizados de regressão de Poisson específicos para cada grupo etário (crianças, adolescentes e idosos), controlados para sazonalidade, temperatura mínima, umidade relativa e dia da semana. Os resultados foram expressos em aumento percentual nas internações para cada variação interquartil dos poluentes atmosféricos. Entre os idosos, o ozônio mostrou efeito mais prolongado do que o NO_2 e o SO_2. Um aumento de 46,7 μg/m^3 na média móvel de 7 dias de ozônio esteve associado a um acréscimo de 10% (IC95%: 3,3% – 17,9%) nas internações hospitalares por doenças respiratórias. Para o NO_2, um acréscimo de 14,2 μg/m^3 na media móvel de 3 dias levou a um acréscimo de 12,4% (IC95%: 0,7% - 25,5%) nas internações do mesmo grupo etário. Para as crianças e adolescentes, apenas PM_{10} e ozônio estiveram positiva e estatisticamente associados com as internações por doenças respiratórias. No grupo de crianças e adolescentes com 10 anos ou menos, aumentos de um interquartil nas médias móveis de 7 dias do PM_{10} (56,5 μg/m^3) e de 5 dias do ozônio (46,7 μg/m^3) levaram a aumentos nas internações hospitalares de 9,6% (IC95%: 3,0% – 16,1%) e 2,4% (IC95%: 0,1% – 4,7%), respectivamente. Pode-se concluir com estes resultados que a poluição do ar em Cubatão ainda promove impactos adversos relevantes sobre a saúde respiratórias de crianças, adolescentes e idosos, os grupos mais susceptíveis.

Palavras-chaves: Poluição atmosférica, doenças respiratórias, internações hospitalres, crianças, adolescentes, idosos, Cubatão

Abstract

ARRUDA, R. J. **ANALYSIS OF THE ASSOCIATION BETWEEN ATMOSFERIC POLLUTION AND RESPIRATORY HOSPITAL ADMISSIONS OF CHILDREN, ADOLESCENTS, AND ELDERLY PEOPLE IN CUBATÃO FROM 1997 TO 2004.** Santos, 2008. 94p. Master degree dissertation on Collective Health – Catholic University of Santos.

Air pollution has been one of the main problems in industrial regions and in big urban centers since the industrial revolution. From the first half of the XX century this problem is getting worse. Cubatão is recognized as one of the most polluted areas due to emissions from different plants of his industrial district. Despite partial reductions of pollutant levels occurred in the last decade, the increase of the automotive fleet that runs across the region contributes to change air contaminants characteristics. The aim of this study is to estimate air pollutants effects on respiratory diseases in children, adolescents and elderly. Daily records of respiratory hospital admissions (9th and 10th Revisions of the International Code of Diseases: 460-519 e J00-J99) were provided by the Computing Department of the Brazilian Health Unique System – DATASUS, from 1997 to 2004. The concentrations of air pollutants (PM_{10}, NO_2, SO_2, and ozone) and weather variables (temperature and relative humidity) were provided by the São Paulo State Environmental Agency – CETESB. In order to estimate the effects of daily variations in air pollutants concentrations on the outcomes, age group-specific Poisson generalized linear regression models were adopted (children, adolescents, and elderly people),

controlling for seasonality, minimum temperature, relative humidity, and days of the week. Results were presented as percentage increases in respiratory hospital admissions due to interquartile range increases of air pollutants. Among elderly people, ozone presented a more extended effect than those observed for NO_2 and SO_2. An increase of 46.7 μg/m^3 in the 7-day moving average of ozone was associated to a 10% (95% CI: 3.3% – 17.9%) increase in respiratory hospital admissions. An increase of 14.2 μg/m^3 in the 3-day moving average of NO_2 was associated with an increase of 12.4% (95% CI: 0.7% - 25.5%) in the same outcome. Among children and adolescents, only PM_{10} and ozone presented positive and statistically significant associations with respiratory hospital admissions. In the group of children and adolescents younger than 10 years of age, increases of one interquartile range in the 7-day moving average of PM_{10} (56.5 μg/m^3) and in the 5-day moving average of ozone (46.7 μg/m^3) were associated with increases in respiratory hospital admissions of 9.6% (IC95%: 3.0% – 16.1%) e 2.4% (IC95%: 0.1% – 4.7%), respectively. It is possible to conclude based on these results that air pollution in Cubatão still promotes relevant adverse impacts on respiratory health of children, adolescents, and elderly people, the most susceptible groups.

Keys-worlds: Air pollution, respiratory diseases, hospital admissions, children, adolescents, elderly people, Cubatão

Sumário

1 - Introdução _____ **13**

1.1 - Histórico _____ **13**

1.2 - Poluentes Atmosféricos _____ **19**

1.2.1 - Material Particulado _____ **20**

1.2.2 - Dióxido de Enxofre e Aerosóis Ácidos _____ **24**

1.2.3 - Monóxido de Carbono _____ **25**

1.2.4 - Óxidos Fotoquímicos _____ **26**

1.2.5 - Óxidos de Nitrogênio _____ **27**

1.3 - Fisiopatologia e Efeitos na Saúde da Poluição Atmosférica Associada a Doenças Respiratórias e Cardiovasculares _____ **28**

1.3.1 – Efeitos Respiratórios da Poluição Atmosférica _____ **29**

1.3.2 – Efeitos Cardiovasculares da Poluição do Ar _____ **32**

1.4 - Características dos Estudos Epidemiológicos Sobre Poluição Atmosférica _____ **33**

1.4.1 – Efeitos Respiratórios Agudos à Poluição do Ar ____ **34**

1.4.1 – Efeitos Respiratórios Crônicos à Poluição do Ar ___ **35**

1.5 – A Cidade de Cubatão e a Poluição _____ **36**

1.5.1 - Caracterização da Área de Estudo _____ **36**

1.5.2 - Industrialização do Município de Cubatão____ **39**

1.6 - Avaliação dos Efeitos da Poluição do Ar Sobre a Saúde na Cidade de Cubatão _____ **42**

2 - Objetivos _____ **47**

3 – Casuística e Método ____ **48**

3.1 - Tipo de Estudo ____ **48**

3.2 - Dados de Morbidade ____ **49**

3.3 - Dados Sobre a Poluição Atmosférica ____ **49**

3.4 - Análise Estatística ____ **51**

3.5 - Variáveis de Estudo ____ **51**

3.6 - Análise Descritiva ____ **52**

3.7 - Análise de Correlação ____ **53**

3.9 - Pacotes Estatísticos ____ **55**

4 - Resultados ____ **56**

4.1 – Análise Descritiva ____ **56**

4.2 – Análise de Correlação ____ **62**

4.3 – Estimativas de Associação entre Poluentes e Internações Hospitalares por Doenças Respiratórias ____ **63**

5 - Discussão ____ **74**

5.1 – Os Estudos de Séries Temporais Como Ferramenta de Investigação Epidemiológica ____ **76**

5.2 – Contextualizações dos Resultados de Cubatão em Relação à Literatura Específica ____ **78**

6 - Conclusões ____ **83**

7 - Referências Bibliográficas ____ **84**

Lista de Figuras

Figura 1 - Distribuição do tamanho do material particulado _____ **22**

Figura 2 - Mecanismos fisiopatológicos do PM_{10} no sistema respiratório _____ **30**

Figura 3 - Mecanismos e ação de poluentes no sistema cardiovascular _____ **33**

Figura 4 - Localização de Cubatão e municípios vizinhos _____ **38**

Figura 5 - Estações de monitoramento da CETESB em Cubatão _____ **50**

Figura 6 - Valores diários de PM_{10} medidos nas estações Centro (C) e Vila Parisi (VP) ao longo dos 2922 dias do estudo _____ **58**

Figura 7 - Valores diários de SO_2 medidos nas estações Centro (C) e Vila Parisi (VP) ao longo dos 2922 dias do estudo _____ **59**

Figura 8 - Valores diários de NO_2 medido na estação Centro ao longo dos 2922 dias do estudo _____ **60**

Figura 9 - Valores diários de O_3 medido na estação Centro ao longo dos 2922 dias do estudo _____ **60**

Figura 10 - Valores diários de temperatura mínima e umidade relativa média do ar em Cubatão entre janeiro de 1997 e dezembro de 2004 ___ **61**

Figura 11 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (36,1 µg/m^3) na concentração de PM_{10} médio _____ **63**

Figura 12 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (56,5 µg/m^3) na concentração de PM_{10} VP _____ **64**

Figura 13 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de

crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (19,4 µg/m^3) na concentração de PM_{10} C _____ **65**

Figura 14 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até dez anos de idade devido a um aumento de um interquartil (36,1 µg/m^3) na concentração de PM_{10} médio _____ **66**

Figura 15 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até dez anos de idade devido a um aumento de um interquartil (56,5 µg/m^3) na concentração de PM_{10} VP _____ **67**

Figura 16 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (14,6 µg/m^3) na concentração de SO_2 médio _____ **68**

Figura 17 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (13,3 µg/m^3) na concentração de SO_2 C _____ **69**

Figura 18 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (14,2 µg/m^3) na concentração de NO_2 C _____ **70**

Figura 19 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3 _____ **71**

Figura 20 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até dez anos de idade devido a um aumento de um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3 _____ **71**

Figura 21 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de adolescentes de 11 a 19 anos de idade devido a um aumento de

um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3 _____ **71**

Figura 22 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3 _____ **73**

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Análise descritiva das internações por doenças respiratórias por faixas etárias na cidade de Cubatão entre janeiro de 1997 e dezembro de 2004 _____ **56**

Tabela 2 - Análise descritiva dos poluentes e das variáveis meteorológicas entre janeiro de 1997 e dezembro de 2004 _____ **57**

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson para poluentes e variáveis meteorológicas _____ **62**

“ Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si três grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a super povoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre estes problemas, vistos sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação.”

Jacques Yves Cousteau (1910-1997)

1 - Introdução

1.1 - Histórico

Um dos compartimentos ambientais também agredido pelo Homem é o ar, tal como a água e o solo, é um recurso indispensável à vida na Terra. Através de ciclos naturais, os seus constituintes são depurados e renovados, garantindo a eliminação dos materiais descarregados pelos seres vivos. O desequilíbrio deste sistema conduz a acumulação, na atmosfera, de substâncias nocivas à saúde, o que fez brotar a necessidade de ações de prevenção e combate aos agentes poluidores, a fim de assegurar a manutenção da qualidade do ar.

A Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVII, está intimamente relacionada a deteriorização da qualidade do ar. O desenvolvimento de máquinas cada vez mais eficientes, a utilização do carvão como fonte de energia e o crescimento da indústria do ferro, estimulou a migração populacional em busca de emprego causando um crescimento urbano desorganizado, precários serviços sanitários e moradias inadequadas, que favoreciam a proliferação de doenças. Somam-se o fato da contaminação por resíduos industriais, de rios e solos próximos as fábricas. A corrida rumo à industrialização, com suas vantagens econômicas e prejuízos ambientais, alcançou posteriormente a Europa, os Estados Unidos e finalmente a América do Sul. [Rosen[1] (1958) citado por Silva (1985)]

[1] ROSEN, G. Industrialism and the sanitary movement (1830-1875). In: Rosen, G*. A history of public health*. New York, MD Publications, p. 192-293, 1958.

Os primeiros sintomas de que o ar poluído teria consequências sobre a saúde da população foram três episódios com repercussões mundiais de aumento da mortalidade em regiões industriais, com grandes concentrações de poluentes, em períodos desfavoráveis para sua dispersão, causados pela inversão térmica, um fenômeno natural em que uma massa de ar quente impede a subida e dispersão dos gases.

O primeiro desastre foi o do Vale de Meuse, na Bélgica, em dezembro de 1930, ocorreu o aumento da concentração de resíduos emitidos pelas siderúrgicas da região, resultando em mais de 60 mortes em cinco dias, dez vezes maior que a média histórica. [Firket, 1931]

Em outubro de 1948, na cidade de Donora nos Estados Unidos, ocorreu mais um alarmante episódio de desastre ambiental. A presença da inversão térmica dificultando a dispersão da fumaça da siderúrgica ocasionou uma névoa escura que cobriu toda a cidade por seis dias, sendo que metade dos habitantes do local tiveram problemas respiratórios e 20 morreram. Dez anos após o incidente, a população residente que sofreu durante o episódio mostrou ter uma taxa de morbidade maior que a média da população. [Ciocco e Thompson, 1961]

Em Londres, com pico em dezembro de 1952, ocorreu o acidente ambiental mais alarmante. Devido a crescente urbanização, foram construídas várias termoelétricas a carvão ao longo do rio Tâmisa. A presença de condições climáticas desfavoráveis, como o frio e a falta de vento, aprisionou e, consequentemente, aumentou as concentrações de poluentes, gerando um aspecto noturno durante o dia. Ocorreram 4.703 mortes por problemas respiratórios e cardiovasculares durante a semana, sendo que ao final de duas semanas, já atingiam o número de 12.000. [Logan, 1953]

A crescente poluição atmosférica nos centros urbanos industrializados tornou-se então um fator de risco iminente para a saúde humana.

A associação entre poluição atmosférica e os resíduos emitidos pelos escapamentos de veículos foi feita pela primeira vez em novembro de 1949, na Califórnia, nos Estados Unidos. Devido ao congestionamento gerando pela final de um campeonato de futebol, uma fumaça surgiu, causando efeitos adversos aos torcedores. [Braga, 1998]

No final da década de 50 iniciaram-se pesquisas financiadas pelo governo inglês sobre o impacto da poluição atmosférica sobre a saúde e economia. A criação do “Clean Air Acts” na Inglaterra (Lei do Ar Limpo) em 1956 e 1968 para o controle da emissão de poluentes atmosféricos industriais, regulamentou as emissões de enxofre e fumaça preta pelas residências. Em 1963, os Estados Unidos, com o “Clean Air Act”, estabeleceu fundos para pesquisa e combate a poluição atmosférica, assim como padrões de qualidade do ar e os poluentes que seriam controlados: partículas inaláveis (PM_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio troposférico (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2) e chumbo (Ch). Porém foi apenas em 1970 com a criação do orgão que faria esse controle, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) que programas nacionais de redução da poluição e leis federais entraram em vigor. Em 1990, o “Clean Air Act” foi expandido com estabelecimento de programas e revisado os padrões de qualidade do ar. [US EPA, 2008]

No Brasil, em termos históricos, a preocupação relativa à poluição atmosférica intensificou-se no início da década de 70, período de forte crescimento econômico e industrial. Problemas de grave poluição do ar nas áreas de grandes cidades - São

Paulo, Cubatão, Porto Alegre - evidenciaram a necessidade de se adotar políticas públicas sobre o tema. [Almeida, 2004]

Em nível federal, a primeira legislação mais efetiva de controle da poluição atmosférica foi a Portaria do Ministério do Interior de nº 231, de 27 de abril de 1976, que visava a estabelecer padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos. Nos anos 80, com o crescimento da frota automobilística no Brasil, o Governo Federal propôs, através da criação do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), em 1981, o estabelecimento de um programa de controle de poluição veicular, o que foi feito por meio da resolução CONAMA nº 18, de 06 de maio de 1986. [Almeida, 2004]

No entanto, percebeu-se ser de igual importância a criação de um programa nacional que contemplasse as fontes estacionárias de poluição atmosférica. Tendo em vista que a maioria dos estados não dispunha de padrões locais de emissão de fontes, observou-se a necessidade da fixação de dispositivos de caráter normativo e do estabelecimento de ações de monitoramento atmosférico.

Assim, por meio da resolução do CONAMA de nº 05, de 15 de junho de 1989, foi criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar — PRONAR — com o intuito de promover a orientação e controle da poluição atmosférica no país, envolvendo estratégias de cunho normativo, como o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte, a implementação de uma política de prevenção de deterioração da qualidade do ar, a implementação da rede nacional de monitoramento do ar e o desenvolvimento de inventários de fontes e poluentes atmosféricos prioritários. Entretanto, os avanços observados foram limitados, tendo sido fixados tão somente limites de emissão para óleo e carvão. [Almeida, 2004]

O primeiro dispositivo legal decorrente do PRONAR, foi a resolução do CONAMA de nº 03, de 28 de junho de 1990, que estabeleceu os novos padrões nacionais de qualidade do ar em substituição aos fixados pela Portaria nº 231/76. Além de estender o número de parâmetros regulamentados de quatro para sete. [Almeida, 2004]

Na resolução CONAMA nº 03, também foram definidos dois tipos de padrões de qualidade de ar:

- Padrões primários: concentrações que ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, podendo ser entendidas como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes.
- Padrões secundários: concentrações de poluentes abaixo dos quais se prevê o mínimo dano a flora e a fauna, aos materiais e ao meio ambiente, podendo ser entendidas como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta a ser alcançada à longo prazo.

Os parâmetros regulamentados atualmente são: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis ≤10μg/m^3 (PM_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio troposférico (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Os padrões nacionais de qualidade do ar são representados no Quadro 1.

Quadro 1 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

Poluente	***Tempo de amostragem***	***Padrão Primário***	***Padrão Secundário***	***Método de Medição***
Partículas totais em suspensão	24 horas (1) Mga (2)	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Partículas inaláveis	24 horas (1) Maa (3)	150 50	150 50	Separação inercial/ filtração
Dióxido de enxofre	24 horas (1) Maa (3)	365 80	100 40	Pararosanilínia
Monóxido de Carbono	1 hora (1) 8 horas (2)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	Infra-vermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimioluminescência
Fumaça	24 horas (1)	150 60	100 40	Refletância
Dióxido de Nitrogênio	24 horas (1) Maa (3)	320 100	190 100	Quimioluminescência

(1) não deve ser excedido mais que uma vez
(2) média geométrica anual
(3) média aritmética anual
FONTE: CETESB, 2002

A razão da escolha destes poluentes como indicadores de qualidade do ar é devido a sua maior freqüência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente.

O problema de poluição do ar, maior nos últimos 70 anos, vem sendo trabalhado no campo da saúde pública em diferentes desfechos, ficando clara sua influência nas formas de doenças agudas, com crises respiratórias com necessidade de internações hospitalares para controle e de doenças crônicas, interferindo na qualidade de vida das pessoas. Buscando contribuir com o campo da saúde coletiva,

mais especificamente com a saúde ambiental na região da Baixada Santista, este estudo pretende analisar os dados ambientais e de saúde disponíveis através de dados secundários para a caracterização da exposição humana a fontes poluidoras do ar, contribuindo como mais uma ferramenta às políticas públicas para controle ambiental e conseqüente melhora da qualidade do ar.

1.2 – Poluentes Atmosféricos

Segundo a Lei Federal nº 6938/81 art. 3º, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas as atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente.

A poluição atmosférica é qualquer interferência danosa nos processos de transmissão de energia em um ecossistema. Pode ser também definida como um conjunto de fatores limitantes de interesse especial para o Homem, constituídos de substâncias nocivas (poluentes) que, uma vez introduzidas no ambiente, podem ser efetiva ou potencialmente prejudiciais ao Homem ou ao uso que ele faz de seu habitat. [CETESB, 2007]

Poluente atmosférico é definido como substância, meio ou agente que provoque, direta ou indiretamente qualquer forma de poluição. [CETESB, 2007]

O nível de poluição do ar ou a qualidade do ar é medido pela quantificação dos poluentes. A variedade de substâncias presentes na atmosfera é enorme, o que torna difícil estabelecer uma classificação única.

A poluição pode ser classificada quanto a sua origem: natural (vulcões, incêndios florestais) ou antropogênica, que se apresenta de duas formas: as estacionárias (indústrias, queimadas) e as móveis (veículos automotores). [Boubel et al., 1994]

Também pode ser classificada quanto a sua composição: os poluentes primários (lançados diretamente pelas fontes de emissão a atmosfera) e os poluentes secundários (formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e constituintes da atmosfera). [Boubel et al., 1994]

A concentração do poluente pode ser cíclica, diurna, diária, semanal, sazonal. A localização geográfica e as condições meteorológicas também podem influenciar na concentração ou dispersão dos poluentes. É por isso que a qualidade do ar piora no inverno, quando a dispersão dos poluentes se torna desfavorável. [Boubel et al., 1994]

1.2.1 - Material Particulado (MP):

O MP é transportado pelo ar e consiste de uma mistura heterogênea de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar devido ao seu pequeno tamanho, variando em tamanho e composição química. O MP tem como origem fontes naturais e artificiais. Na indústria química, a maior fonte contribuidora para este poluente vem do vapor das caldeiras pela queima de combustíveis fósseis (óleo combustível e o gás natural). [Cançado et al., 2006a]

Sua classificação consiste em:

- Poeira total em suspensão (PTS) - partículas com diâmetro aerodinâmico de até 100 micras – produzidas por processos mecânicos (ventos), partículas biológicas (pólens e esporos); podem ser inaladas, mas são mais comumente vistas como pó depositado em superfícies ou fumaça.
- Material particulado inalável (PM_{10}) - partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10 micras - fontes de combustão de automóveis e incineradores. Podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis grossas (2,5 a 10µm) ou grandes (*coarse mode*) com diâmetros entre 2,5 e 30µm, emitidas através de combustões descontroladas, pólens, esporos e materiais biológicos, e partículas inaláveis finas (*fine mode*) – $MP_{2,5}$ (<2,5µm) emitidas pela combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis e incineradores e termoelétricas. [Cançado et al., 2006a] Mais recentemente, pesquisas têm evidenciado os efeitos das partículas ultrafinas (diâmetro <100nm ou 0,1 µm), resultantes de processos de combustão. Essas partículas se caracterizam pela deposição nos alvéolos pulmonares, passando diretamente para o sistema circulatório. Possuem vida curta, pois se aglomeram a partículas maiores. [Nemmar et al., 2002; Brook et al., 2004]

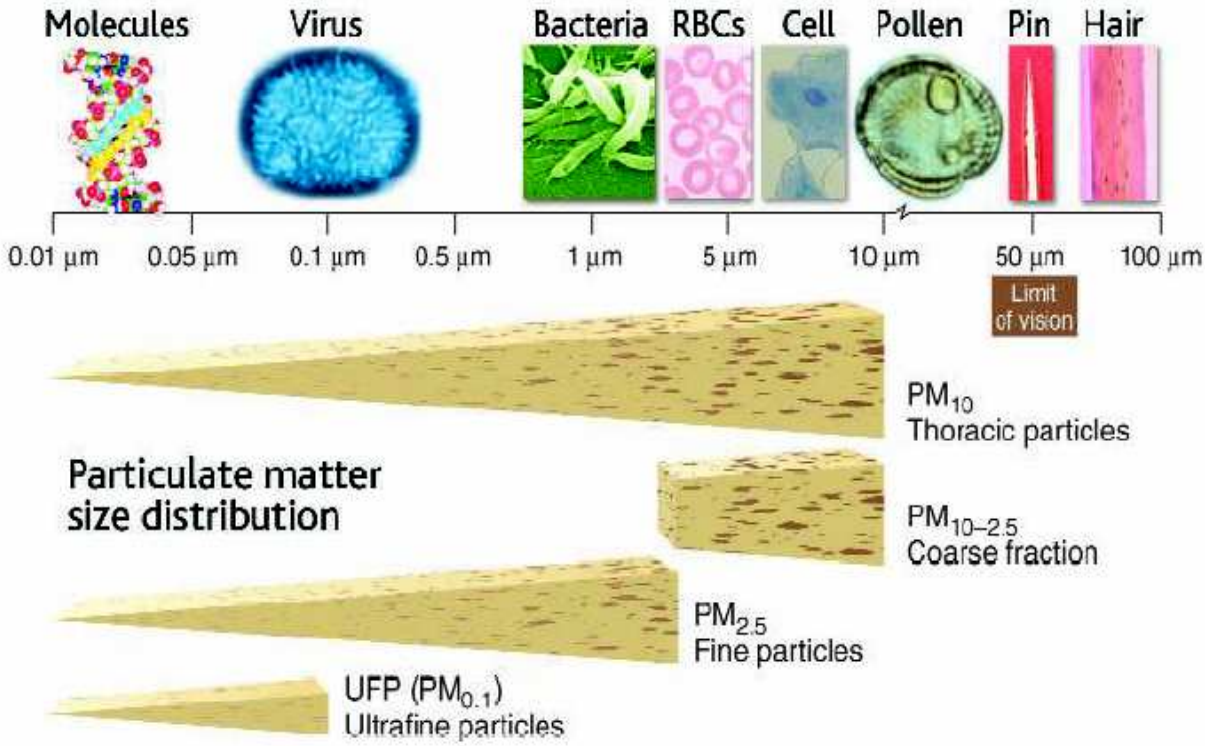

Figura 1. Distribuição do tamanho do material particulado

FONTE: Kaiser J., 2005

O tamanho das partículas determinará se serão removidas pelas vias aéreas superiores ou se irão atingir os alvéolos e depositar-se nos pulmões. Partículas maiores que 10 µm são retidas nas narinas e nasofaringe e eliminadas principalmente pelo espirro, tosse e deglutição. Partículas menores que 10 µm de diâmetro podem alcançar a árvore brônquica, razão pela qual a Agência de Proteção Ambiental Americana as escolheu como medida de controle. Partículas menores que 2,5 µm depositam-se nos bronquíolos e alvéolos pulmonares, sendo fagocitadas pelos macrófagos e removidas pelo sistema mucociliar. [Committee of Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, 1996] O $MP_{2,5}$ apresenta a característica de transportar gases adsorvidos em sua superfície, transportando-os até porções distais do pulmão, onde ocorrem as trocas gasosas.

[Cançado et al., 2006a] O padrão de qualidade de ar adotado no Brasil, não menciona o $MP_{2,5}$.

Investigações epidemiológicas realizadas no Brasil mostram a relação entre o MP e a saúde da população. Estudo realizado na cidade de São Paulo mostrou que para aumentos de 35 $\mu g/m^3$ na concentração de PM_{10}, 5,8 ppm na concentração de CO e 98,1 $\mu g/m^3$ na concentração de O_3 ocorreram aumentos nas internações de crianças e adolescentes menores de 15 anos por doenças respiratórias de 10% (IC 95%: 7,75-12,38), 6,1% (IC 95%: 3,64-8,61) e 2,5% (IC 95%: 0,26-4,79), respectivamente. Os mesmos aumentos nas concentrações de PM_{10} e CO levaram a acréscimos na mortalidade geral de idosos da ordem de 8,1% (IC 95%: 6,42-9,79) e 7,9% (IC 95%: 6,28-9,59), respectivamente. [Freitas et al., 2004] Outro estudo, na mesma cidade, investigou em crianças e adolescentes, a associação para PM_{10}, O_3, SO_2, CO e NO_2, sendo positiva para todos os poluentes com maior influência para internações hospitalares e PM_{10} (aumento de 9,4%; IC 95%: 7,9-10,9) para crianças de até 2 anos e adolescentes de 14-19 anos (aumento de 5,1%; IC 95%: 0,3-9,8). [Braga et al., 2001a] Associação robusta foi encontrada também para PM_{10} e em menor intensidade para O_3 e SO_2, para internação hospitalar por doenças respiratórias. [Lin et al., 1999]

A fumaça (FMC) está associada ao MP suspenso na atmosfera provenientes do processo de combustão. Os trabalhos iniciais sobre poluição atmosférica consideravam a FMC e TSP, atualmente os pesquisadores utilizam o PM_{10} e $MP_{2,5}$. [Committee of Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, 1996]

1.2.2 - Dióxido de enxofre (SO_2) e aerossóis ácidos:

O dióxido de enxofre é um gás incolor não inflamável a pressão e temperatura ambiente. Altamente tóxico, possui odor asfixiante em concentrações acima de 3-5 ppm. É resultante da combustão de elementos fósseis como carvão e petróleo, têm como fontes principais os automóveis, indústrias e usinas termoelétricas. Devido a sua permanência prolongada no ar, pode ser transportado e produzir efeitos em regiões distantes das fontes emissoras. [Committee of Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, 1996]

Existem evidências de que o SO_2 agrava as doenças respiratórias pré-existentes, produzindo irritação no sistema respiratório. A atividade física leva a um aumento da ventilação alveolar, com conseqüente aumento da sua absorção pelas regiões mais distais, produzindo danos aos tecidos pulmonares. Em repouso, a maior parte do SO_2 inalado é absorvida nas vias aéreas superiores. A exposição a longo prazo provoca um aumento da tosse e expectoração, pelos mediadores inflamatórios, causando alterações semelhantes as da bronquite crônica. [Cançado et al., 2006a]

Quando lançado na atmosfera, dependendo do tempo de permanência no ar, da presença da luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás, é oxidado formando ácido sulfúrico (H_2SO_4), o aerosol mais irritante do trato respiratório. Dissolvidos na água presente na atmosfera, formam-se os aerossóis ácidos mais comuns: sulfatos (SO_4^-) e bissulfato (HSO_4^-). São os principais componentes da chuva ácida. Os aerosóis ácidos têm ação inflamatória no trato respiratório devido ao pH < 1. [Cançado et al., 2006a]

Um estudo realizado na cidade de São Paulo investigou as estimativas de efeito da poluição atmosférica nas internações por infarto do miocárdio, concluindo que todos os poluentes tiveram associação positiva com os desfechos, sendo que o SO_2 apresentou associação mais robusta e significativa, sendo que para o aumento de um interquartil deste poluente foi associado a um aumento de 13% (IC 95%: 6-19) e de 8% (IC 95%: 2-13), nas internações por infarto em terapia intensiva e enfermaria, respectivamente. [Cendon et al., 2006]. Outra investigação na mesma cidade, analisou a associação entre os poluentes e os atendimentos diários de idosos com infecções de vias aéreas superiores (IVAS), avaliando o rodízio de veículos na cidade. Na análise individual para o CO e SO_2 foi encontrada uma forte associação com os atendimentos por IVAS, mesmo este último sendo o único poluente que nunca ultrapassou os limites aceitáveis de qualidade do ar no período de estudo. [Martins et al., 2001]

1.2.3 - Monóxido de Carbono (CO):

O monóxido de carbono é um gás inflamável, incolor, inodoro e muito tóxico, produzido pela combustão incompleta (com ausência de chamas), podendo ser fatal em altas doses. Suas principais fontes emissoras são os veículos automotivos, seguidos pelos aquecedores a óleo, queima do tabaco, churrasqueiras e fogões a gás. [Cançado et al., 2006a]

Os efeitos da exposição estão associados ao transporte de oxigênio na combinação com a hemoglobina no sangue, já que a afinidade desta pelo CO é 240 vezes maior do que pelo oxigênio. Quando a hemoglobina recebe uma molécula de CO forma-se a carboxihemoglobina, que diminui a capacidade do sangue em

transportar oxigênio, ou seja, uma pequena quantidade de CO pode saturar grande quantidade de moléculas de hemoglobina. Também desvia a curva de dissociação da hemoglobina para a esquerda, levando a uma diminuição da liberação de oxigênio nos tecidos. [Cançado et al., 2006a]

Os tabagistas têm na fumaça do cigarro a maior fonte inalatória do CO, para os não fumantes, o trânsito intenso é o maior determinante da inalação deste poluente. Atletas durante exercício intenso por 30 minutos em vias de tráfegos pesados apresentam aumentos de até 10 vezes dos níveis de carboxihemoglobina, o que equivale a 10 cigarros. [Carlisle et al., 2001] Estudo similar na Itália mostrou associação dos moradores próximos de rodovias com aumento de internações por asma, diminuição da função pulmonar e aumento da prevalência e severidade de rinite alérgica. [Diaz-Sanches et al., 2003]

Por razão deste poluente não constar na rede de monitoramento da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) da cidade de Cubatão, não foi incluído na pesquisa.

1.2.4 - Oxidantes Fotoquímicos:

São formados por reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioletas) envolvendo óxidos de nitrogênio (NOx) e hidrocarbonetos, derivados das emissões veiculares, indústrias e usinas termoelétricas. O principal constituinte deste grupo é o ozônio troposférico (O_3), porção atmosférica em contato com a crosta terrestre, o que contrasta com o efeito protetor atribuído ao ozônio estratosférico.

Este gás é de coloração azul pálida, é extremamente oxidante, citotóxico (lesão celular), é pouco solúvel em água, atingindo porções mais distais das vias aéreas. Seus níveis são mais elevados no verão e durante a tarde.

Um estudo de coorte nos EUA relata a associação entre o ozônio e a incidência de asma em adultos não fumantes. [McDonnell et al., 1999]. Outro estudo realizado no Califórnia faz a associação do aumento da incidência de diagnóstico de asma em crianças que realizam exercícios físicos em regiões com altas concentrações de ozônio, o que não acontece com regiões com baixas concentrações desse poluente. [McConnell et al., 2002] Em Toronto, no Canadá, foi encontrado efeito positivo do O_3 nas internações hospitalares para crianças menores de 2 anos de idade, no período de verão. [Burnett et al., 2001]

1.2.5 - Óxidos de Nitrogênio (NOx):

As principais fontes de óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2) são os motores dos automóveis e aviões, formados pela reação do oxigênio com nitrogênio, e em menor escala, os fornos, incineradores, fogões a gás e aquecedores a querosene, queimadas e o cigarro. [Cançado et al., 2006a]

O NO_2, na presença da luz solar, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio, sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera. [Cançado et al., 2006a]

O NO_2 quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão devido a sua baixa solubilidade em água, dando origem as nitrosaminas, que podem ser carcinogênicas. Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante e irritante das mucosas, principalmente em crianças. [Cançado et al., 2006a]

Estudos epidemiológicos têm demonstrado influência do NO_2 na saúde da população. Estudo realizado com crianças menores de 5 anos na cidade de São Paulo, demonstrou uma associação positiva e estatisticamente significativa entre mortalidade devido a doenças respiratórias e acréscimos nas concentrações de NO_X. [Saldiva et al., 1994] Outro estudo realizado na mesma cidade relatou um aumento de doenças respiratórias baixas em crianças, associado ao NO_2. [Farhat et al., 2005]. Trabalho realizado em Araraquara demonstrou a influência do NO_2 indoor em cozinheiros de hospitais da cidade através de medidas espirométricas, que constatou pequena, mais significante redução dos volumes pulmonares como o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) e do fluxo expiratório forçado nos quartis intermediários ($FEF_{25-75\%}$). [Arbex et al., 2007]

1.3 - Fisiopatologia e efeitos na saúde da poluição atmosférica associada a doenças respiratórias e cardiovasculares

Os problemas respiratórios representam a segunda causa de morbidade na distribuição das doenças no Brasil. Dados do Ministério da Saúde apontam que 1.936.444 pacientes foram internados em hospitais da rede pública brasileira no ano 2000, por doenças do aparelho respiratório, sendo 275.769 (14,24%) no estado de São Paulo. [Ministério da Saúde do Brasil, 2001]

No Brasil, os estudos de associação de poluentes atmosféricos com desfechos de morbidade e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, começaram na década de 90.

1.3.1 - Efeitos Respiratórios da Poluição Atmosférica

O exato mecanismo, ou mecanismos, pelos quais os poluentes atmosféricos causam danos a saúde são complexos e não estão totalmente elucidados. Um dos mais aceitos é a do estresse oxidativo. A poluição do ar no sistema respiratório causa uma resposta inflamatória induzida pela ação de substâncias oxidantes, que causam aumento da produção, da acidez, da viscosidade e da consistência do muco produzido por todo o sistema respiratório. Isto pode acarretar em diminuição da resposta e da eficácia dos sistemas de defesa. [Committee of Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society, 1996]

Neste modelo, a queda da defesa antioxidante pode aumentar a propensão a inflamação nas vias aéreas, induzida pelo PM_{10}, causando maior suscetibilidade a infecções e a asma. Isto pode explicar a existência da suscetibilidade humana, ou seja, algumas pessoas desenvolverem sintomas e doenças quando expostas a poluição, enquanto outras não. [Alexis et al., 2004] Este algoritmo pode ser observado na Figura 2.

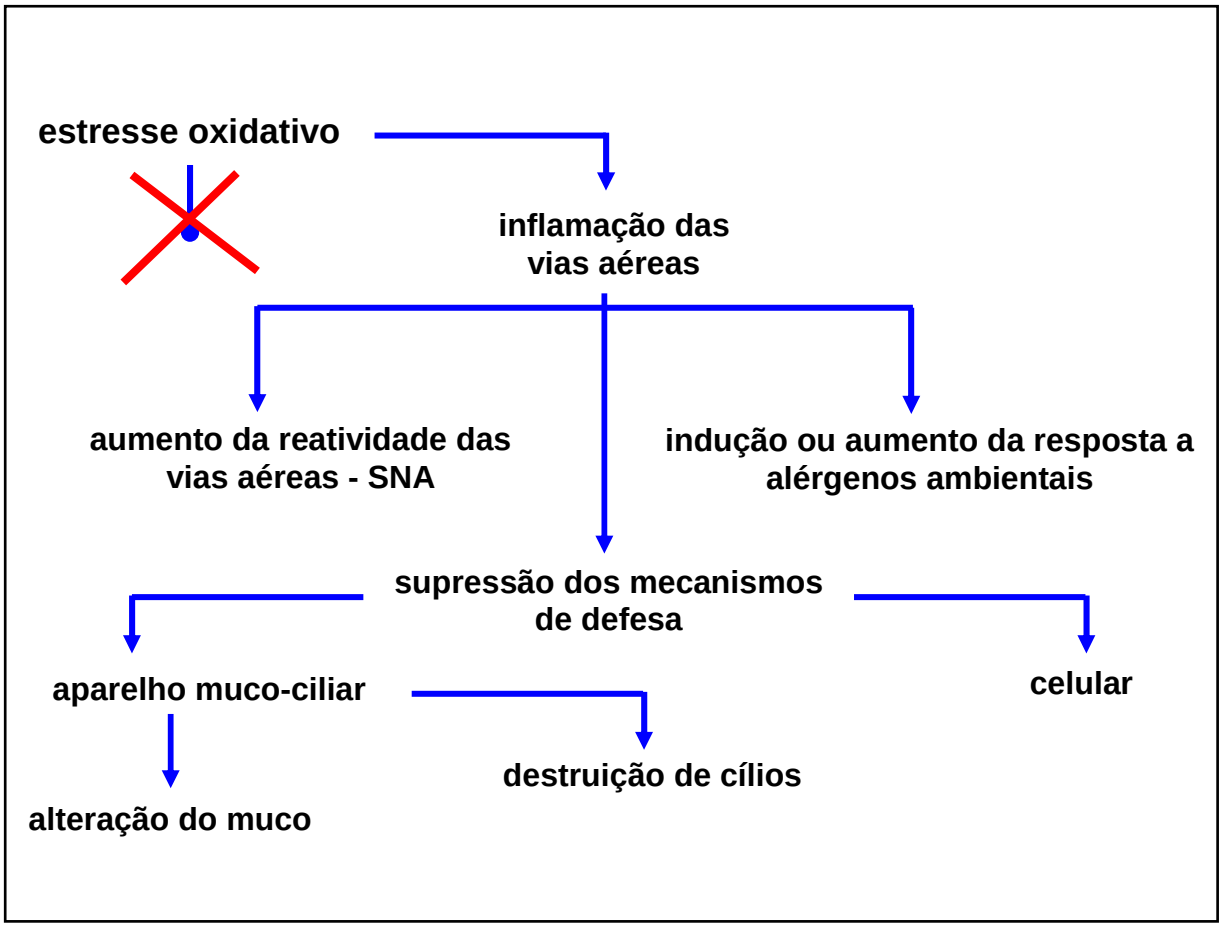

Figura 2- Mecanismos fisiopatológicos do PM_{10} no sistema respiratório

O Quadro 2 mostra os principais efeitos respiratórios associados aos poluentes do ar, segundo a American Thoracic Society.

Quadro 2 – Principais efeitos respiratórios associados à poluição do ar

A. Aumento da mortalidade;
B. Aumento da incidência do câncer de pulmão;
C. Aumento da freqüência dos sintomas e das crises de asma;
D. Aumento da incidência de infecções respiratórias baixas;
E. Aumento das exacerbações em indivíduos já portadores de doenças cardiorrespiratórias ou outras doenças
1. redução da habilidade de exercer as tarefas diárias;
2. Aumento das hospitalizações;
3. Aumento das visitas médicas e a emergência;
4. Aumento do uso de medicamentos;
5. Diminuição da função pulmonar;
F. Redução do VEF_1 ou CVF associada a sintomas clínicos e ao aumento da mortalidade;
G. Aumento da prevalência do chiado e/ou aperto no peito;
H. Aumento da prevalência ou incidência de tosse e hipersecreção pulmonar;
I. Aumento da incidência de infecções de vias aéreas superiores piorando a qualidade de vida;
J. Irritação nos olhos, garganta e narinas podendo interferir na vida normal.

Adaptado de Cançado et al., 2006

Recentemente estudos têm voltado sua atenção também para os efeitos da combustão proveniente da queima de biomassa em ambientes fechados e abertos. No segundo caso, o primeiro estudo foi realizado pelo Laboratório de Poluição Experimental da Universidade de São Paulo em 2000. Realizado em Araraquara (SP), encontrou associação significativa entre o número de inalações diárias e a concentração de MP proveniente da queima da palha da cana-de-açúcar. [Arbex et al, 2000] Outro estudo realizado em Piracicaba (SP) também revelou aumento do PM_{10} na região no período de safra acima dos limites permitidos, com aumento significativo das internações hospitalares por causas respiratórias em crianças,

adolescentes e idosos. A pesquisa concluiu que a queima da palha da cana-de-açúcar contribui como fonte poluidora e com o aumento da morbidade respiratória de forma semelhante à poluição produzida pelos combustíveis fósseis, vistos nos centros urbanos. [Cançado et al., 2006b]

1.3.2 - Efeitos Cardiovasculares da Poluição do Ar

Estudos experimentais e observacionais têm apresentando resultados consistentes sobre os efeitos da poluição do ar, especialmente do $MP_{2,5}$ e CO, na morbi-mortalidade por doenças cardiovasculares. Têm sido relatado efeitos agudos e crônicos. [Dockery et al., 2001; Brook et al., 2004]

O aumento da poluição atmosférica tem sido associada ao aumento da viscosidade sanguínea, de marcadores inflamatórios (proteína C reativa, fibrinogênio) e da progressão da arteriosclerose, a alterações da coagulação, à redução da variabilidade da freqüência cardíaca (indicador de risco para arritmia e morte súbita), à vasoconstrição e ao aumento da pressão arterial, todos fatores de risco para doenças cardiovasculares. [Pope et al., 2004]

A Figura 3 ilustra os potenciais mecanismos de efeito do MP no sistema cardiovascular:

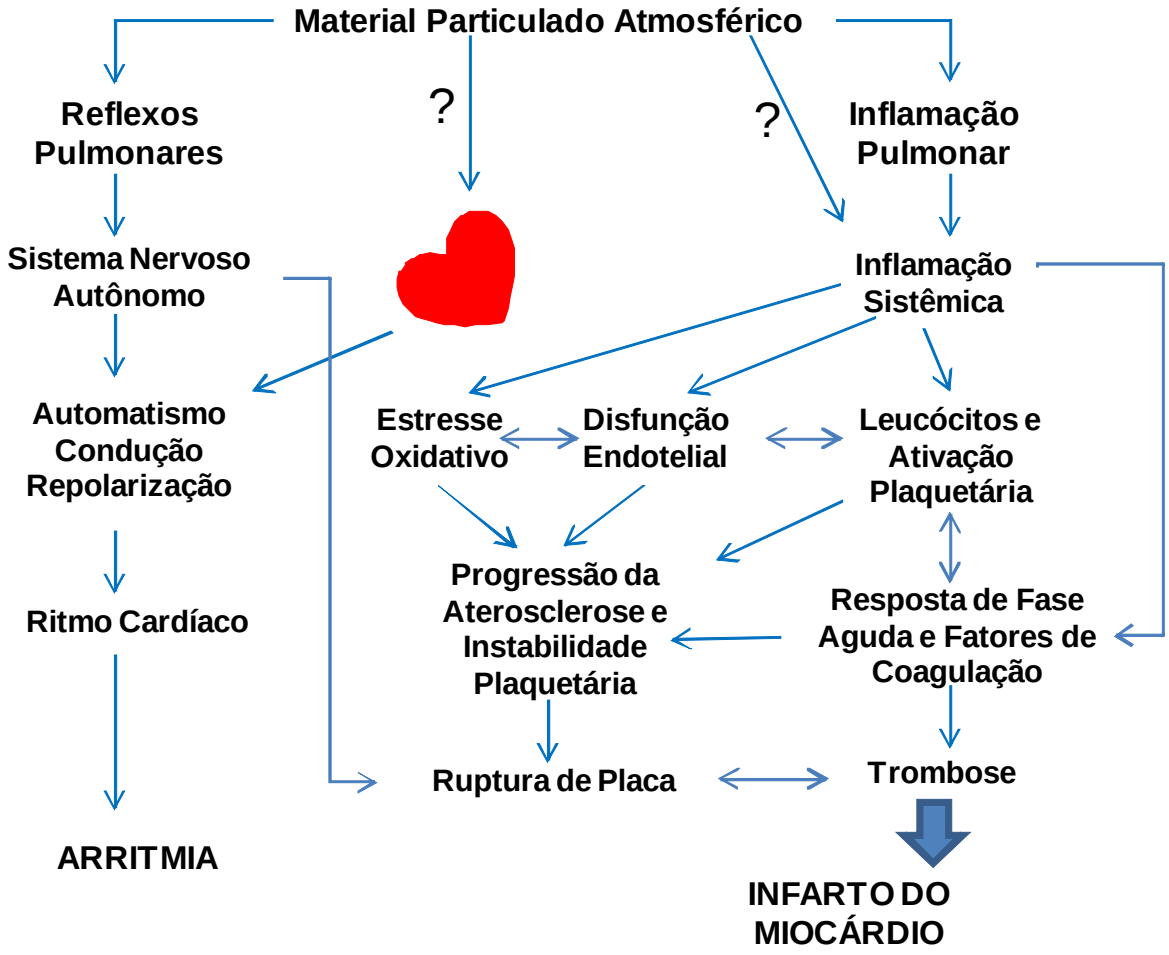

Figura 3 - Mecanismos e ação de poluentes no sistema cardiovascular Adaptado de Brook et al., 2004

Esses estudos também reforçam a idéia de que idosos portadores de cardiopatias, tabagistas e sedentários constituem grupos mais susceptíveis para doenças cardiovasculares.

1.4 - Características dos estudos epidemiológicos sobre poluição atmosférica

Episódios agudos de poluição atmosférica foram de fundamental importância para motivar estudos e medidas de controle pelas autoridades responsáveis com o intuito de reduzir os níveis de poluição, o que de fato ocorreu. Os primeiros estudos

não foram bem sucedidos, devido à baixa qualidade das técnicas, dos aparelhos de mensuração e dos modelos estatísticos pouco fiéis. Com o aprimoramento e evolução das análises estatísticas e dos instrumentos técnicos, novos estudos vêm comprovando que mesmo em concentrações abaixo do limite de segurança estabelecido pela legislação, os poluentes atmosféricos podem acarretar danos à saúde. [Saldiva et al., 1995]

Em termos amplos, os estudos nesta área podem ser separados entre aqueles que investigam os efeitos agudos [Saldiva et al., 1994; Lin et al., 1999; Braga et al., 1999; Braga et al., 2001a; Martins et al., 2002b] e os que investigam os efeitos crônicos da exposição à poluição do ar [Dockery et al., 1996; Pope et al., 2002; Pope et al., 2004]. O primeiro é mais numeroso e pesquisa desfechos como morbi-mortalidade, sintomatologia, hospitalizações e atendimentos em emergência, associados às concentrações de poluentes atmosféricos, num estudo de base populacional agregada de série de tempo, do qual se trata o presente estudo. O segundo, denominado estudo de coorte, envolve análise de dados que necessitam de um determinado tempo de seguimento, como por exemplo, mortalidade total sobre uma doença com os efeitos da exposição prolongada à poluição ambiental.

- Efeitos respiratórios agudos da poluição do ar: as pesquisas realizadas nesta esfera a partir da década de 90, enfatizam a mortalidade e as admissões hospitalares como desfechos. O projeto APHEA (Air Pollution and Health: A European Approach) através de dados coletados em 29 cidades européias analisou as internações hospitalares por asma e doença pulmonar obstrutiva crônica em indivíduos com mais de 65 anos e encontrou um aumento de 1%

(IC95%: 0,4 – 1,5) nas internações por doença pulmonar obstrutiva crônica para um aumento de 10 µg/m^3 do PM_{10}. [Atkinson et al., 2001]

Nos EUA, o National Mortality, Morbidity and Air Pollution Studies (NMMAPS) utilizou dados de 20 regiões metropolitanas entre 1987 e 1994. Um dos estudos deste projeto analisou as internações hospitalares em dez cidades, e encontrou para todas as idades, um aumento de 1,5% (IC 95%: 1,0 – 1,9) nas internações por DPOC para aumentos de 10 µg/m^3 do PM_{10}. [Zanobetti et al., 2000]

- Efeitos respiratórios crônicos da poluição do ar: estudos de coorte têm abordado os efeitos a longo prazo da exposição à poluição, tanto na mortalidade quanto na morbidade. Um estudo realizado com 24 comunidades no Canadá e EUA foram encontradas associações significativas entre exposição a partículas finas e redução da função pulmonar com sintomas de bronquite em crianças. [Dockery et al., 1996] Outro estudo de mortalidade realizado nos EUA mostrou que a exposição crônica ao MP fino aumenta o risco de doenças respiratórias e cardiovasculares, inclusive câncer de pulmão, sendo que PTS e partículas grossas não foram associadas à mortalidade. [Pope et al., 2002]

Além disso, com a evolução das pesquisas, alguns achados chegam a estar em conformidade no que se refere a:

- Grupos de risco: Caracterizam as faixas etárias mais susceptíveis aos efeitos deletérios da poluição sobre a saúde da população exposta. A primeira é a das crianças e adolescentes [Saldiva et al., 1994; Braga et al., 1999; Lin et al., 1999; Braga et al., 2001b, Schwartz, 2004], a outra é a dos idosos. [Saldiva et al., 1995;

Gouveia e Fletcher, 2000; Martins et al., 2001; Martins et al., 2002a; Martins et al., 2002b; Martins et al., 2004]

- Condições sócio-econômicas: Poucos estudos fazem referência às condições sócio-econômicas que caracterizam a população em estudo, mesmo sabendo que suas desigualdades têm efeito sobre a saúde. Nas últimas décadas ocorreram esforços para melhorar o meio ambiente, e, por conseguinte a saúde da população. Porém, ainda existem exposições ambientais nocivas, especialmente em áreas urbanas, em populações de baixa condição financeira. [Zanobetti e Schwartz, 2000; Martins et al., 2004].

- Doenças pré-existentes: Indivíduos portadores de cardiopatias [Brook et al., 2004; Dominici et al., 2006] e pneumopatias [Dominici et al., 2006], são mais suscetíveis aos efeitos dos poluentes atmosféricos.

1.5 – A Cidade de Cubatão e a Poluição

1.5.1 - Caracterização da área de estudo

Geográfica

Cubatão é um município do Estado de São Paulo, na Região Metropolitana da Baixada Santista, que é composta por nove municípios. Possui uma a área de 142,3 km² de extensão. Seus limites são Santo André a norte, Santos à leste, a Baía de Santos à sul, São Vicente à sudeste e São Bernardo do Campo à noroeste. O

município de Cubatão (latitude 23°52'26 “S e longitude 46°25'37” W), distante aproximadamente 60 km da Capital Paulista, possui entre 8 a 9 km de largura. Dos seus 142,3 km^2 de área, apenas 18% são planícies, sendo o restante composto por serras, morros e manguezais. [Portal de Cubatão, 2007]

A região possui clima entre tropical, com média anual de umidade relativa do ar de 70 a 90%.

Cubatão está localizado nas encostas da Serra do Mar, sistema montanhoso recoberto por vegetação que separa o Planalto Atlântico da Planície Litorânea, numa extensão que vai desde a divisa de São Paulo com o Rio de Janeiro até o município de Itariri, no sul do Estado, passando por toda a faixa litorânea. O Parque Estadual da Serra do Mar representa a maior porção contínua preservada de Mata Atlântica do Brasil. Na Figura 3 observa-se sua posição estratégica entre o planalto e o Porto, o que favoreceu seu desenvolvimento, porém extremamente desfavorável para a dispersão dos gases tóxicos produzidos pelas indústrias que lá se fixaram, visto a direção dos ventos ser predominantemente do mar para o continente. [Portal de Cubatão, 2007]

Figura 4 – Localização de Cubatão e municípios vizinhos.
FONTE: Google Maps

Sócio-econômicas e Urbanização

Uma melhor compreensão desse fenômeno regional pode ser apreendida com uma breve recuperação da história da sua urbanização recente. Observa-se que é a partir da década de 50, que a região sofre profundas transformações, alterando seu perfil socioeconômico. Neste processo foram decisivos os investimentos públicos que resultaram na abertura da ligação rodoviária entre o planalto e a baixada (Via Anchieta), que acabou por contribuir também para acentuar a vocação turística da região e a instalação do pólo industrial de Cubatão.

A indústria tornou-se o principal setor e atividade econômica da região. A fabricação e o refino do petróleo constituem duas das principais atividades da região, seguidas pela metalurgia.

O PIB de Cubatão representa o maior das cidades da Baixada Santista (38,4%), seguido pelo de Santos (30,2%). [Portal de Cubatão, 2007]

Populacional

O crescimento populacional no município tem sido contínuo, estimulado inclusive pelo afluxo de imigrantes que chegaram em busca de trabalho nas empresas locais.

Em 1940, a maior parte da população cubatense era rural. Com a implantação de novas indústrias, o quadro rapidamente se inverteu, com a chegada de migrantes de outros locais do país e o próprio deslocamento populacional da área rural para a urbana. Em 1970, 73% da população ocupavam a área urbana e 27% a zona rural. Atualmente, o município compreende 31,65 km² de zona rural e um perímetro urbano de 116,35 km², dos quais 66,93 km² de Zona Industrial. [Portal de Cubatão, 2007]

A população residente do município oriunda do censo do IBGE de 2000 é de 108.309 habitantes, e estimada para 2007, de 120.271 habitantes. [IBGE, 2004]

1.5.2 - Industrialização do município de Cubatão

No decorrer do processo de industrialização brasileira, algumas regiões da Baixada Santista atraíram grandes indústrias voltadas para o setor de base (petroquímicas, siderúrgicas, metalúrgicas), dando origem ao Pólo Industrial da cidade de Cubatão. A cidade de Cubatão iniciou sua história de evolução industrial de forma inadequada na década de 50, com a implantação da Refinaria Presidente Bernardes (1955), que foi o pólo indutor da indústria petroquímica, e com a fundação

da COSIPA (Companhia Siderúrgica Paulista) em 1953, tomando relevância a partir dos anos 60, continuando a expandir-se até a década de 80. Este processo deu início a modificação da sua urbanização e caracterização demográfica e socioeconômica. [Portal de Cubatão, 2007]

Juntamente com o desenvolvimento industrial vieram as conseqüências desse processo de industrialização, como devastação da vegetação, a contaminação por produtos químicos do solo, rios e manguezais. A combinação de atributos geográficos característicos e de fatores econômicos favoráveis, gerou um processo de concentração industrial intenso, o que garantiu a esse município o título de o mais poluído do país. [Almeida, 2004]

Desde então, devido à contaminação antropogênica, tem-se visto uma produção cada vez maior de estudos ambientais e experimentais que confirmam sua relação com a saúde humana. Uma ampla literatura vem comprovando, em todo o mundo, a influência da poluição do ar na morbi-mortalidade, sendo que os estudos mais recentes têm obtido dados mais conclusivos, excluindo fatores de risco individuais como fumo, ocupação e condição econômica.

Uma breve noção das ocorrências de acidentes ambientais em Cubatão é descrita por Almeida (2004) citado por Awazu[2] et al (1985), que listou 16 acidentes ambientais ocorridos em Santos e Cubatão entre 1976 e 1985, que ocuparam os técnicos da CETESB por 98 dias. Desses acidentes, dois tiveram grande projeção nacional e internacional: o do incêndio da Vila Socó, em fevereiro de 1984, com o vazamento de gasolina e a explosão de oleodutos da Petrobrás, entre Santos e São Paulo, com duração de 9 horas e com a morte de 93 pessoas; e o do vazamento de

[2] Awazu, L. A.; Serpa, R. R.; Aventurato, H; Rossin, A. C. Análise histórica da ocorrência de acidentes ambientais no Estado de São Paulo, CETESB. Trabalhos apresentados ao 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, p. 1-22, 1985.

amônia na tubulação que liga o complexo químico da Ultrafértil à Faper – fábrica de fertilizantes, em fevereiro de 1985, que gerou uma nuvem tóxica e obrigou a retirada de 6.000 pessoas da área por três dias, entre elas, moradores do bairro de Vila Parisi, favela situada entre indústrias, e operários. Surgiram, então, as doenças intimamente ligadas à miséria, a pobreza, a falta de saneamento básico e a poluição. Em meados de 1980, ocorreram os primeiros registros de mortes neonatais por anencefalia e as alterações no trato respiratório da população residente, o que preocupou as autoridades do município. [Almeida, 2004]

Na década de 80 as indústrias lançavam diariamente no ar quase 1000 toneladas de poluentes, produzindo níveis de poluição absolutamente críticos. Para reversão deste quadro, foi implementado um programa para controle da poluição industrial, com o objetivo de reduzir a poluição a níveis aceitáveis, no prazo de 5 anos. Portanto, desde 1984, com a implantação do Plano de Prevenção de Episódios Agudos de Poluição do Ar, a Prefeitura e o Governo do Estado vêm trabalhando num projeto de preservação ambiental, juntamente com a Organização das Nações Unidas (ONU). A prefeitura cabe a remoção dos moradores das favelas situadas em locais críticos. De 1984 a 1994, foram investidos cerca de 700 milhões de dólares por parte das indústrias no controle da poluição ambiental, com resultados, devido principalmente ao trabalho direto efetuado pela CETESB. Então, Cubatão se torna, na década de 90, “exemplo mundial de recuperação ambiental”, pois a partir de 1995 não mais se atingiu níveis de poluição que exigissem declarações de “Alerta” ou “Emergência”. [CETESB, 2002]

A história de contaminação das águas, solo e ar da cidade de Cubatão por si só, justificam a execução desta pesquisa. Associado aos assentamentos com ocupação própria, comunidades populosas de baixa renda, condições de moradia

próximas de aterros e áreas contaminadas, são condições que favorecem o aparecimento e proliferação de doenças.

É, portanto, necessário a investigação dos resultados práticos dos projetos da cidade de Cubatão para combater a poluição da década de 80, juntamente com a caracterização de áreas específicas para monitoramento futuro da poluição ambiental e seus efeitos na população.

1.6 – Avaliação dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde na cidade de Cubatão

Pesquisas realizadas nas últimas décadas na região da Baixada Santista apresentam fortes evidências de que a região e sua população sofrem as consequências da grande contaminação ambiental [Faria et al., 1999; Hofmeister, 1991; Laurenti et al., 1982; Rocha et al., 1988; Spektor et al., 1991; Zago et al., 2005].

No triênio 1978/1980, de cada 1000 nascidos vivos em Cubatão, 66 morreram antes de completar um ano de vida (para o restante da região de Santos esse valor foi de 56,9). Quanto às causas de morte, a principal eram as perinatais, englobando 32,42% das mortes (para o resto da Baixada Santista 34,70%). As moléstias infecciosas constituíam o segundo grupo de causas de morte: 27,51% (28,16% para os demais municípios). Em Cubatão, das crianças que morreram com menos de um ano de idade, 23% apresentaram desnutrição (no restante da região, 18%). Quanto às anomalias congênitas, de cada cem mil crianças que nasceram vivas, 324,47 tiveram como causa direta da morte uma má-formação (restante da

Baixada, 279,7). Chamou a atenção a grande proporção de anomalias do sistema nervoso (52%), sendo que as outras áreas apresentavam preponderância de anomalias do aparelho circulatório. Quanto ao risco de morrer por anencefalia, Cubatão apresentava valor alto: 64,89 óbitos para cada mil nascidos vivos. Nos demais municípios da Baixada, o risco foi de 28,11 para cem mil nascidos vivos, mostrando que Cubatão apresentou risco igual a 2,3 vezes ao da Baixada. Quanto aos produtos de concepção que não apresentaram sinal de vida ao nascer, os resultados mostraram que o grupo das anomalias congênitas foi causa de morte fetal em 4,26% dos casos de Cubatão e 1,88% dos casos dos outros municípios da Baixada. As anomalias do sistema nervoso representaram, cerca de 50% do total de anomalias em Cubatão (31,6% para a Baixada), sendo as anencefalias responsáveis por 1,6% das perdas em Cubatão e 0,5% das da Baixada. [Laurenti et al., 1982]

Estudo realizado para avaliar coeficientes de mortalidade por todos os tipos de câncer na região de Cubatão mostrou que nas áreas industriais estes coeficientes eram maiores do que nas áreas não industriais [Faria et al., 1999].

Um estudo realizado em Cubatão logo após as medidas tomadas para controle da poluição atmosférica pelas indústrias, caracterizou a morbidade hospitalar comparando-a com a do estado de São Paulo a fim de subsidiar a atuação dos serviços de saúde do município. As principais causas de internação foram agrupadas em: complicações da gravidez, parto e puerpério (23,63%), doenças do aparelho respiratório (22,8%), doenças das glândulas endócrinas, da nutrição e do metabolismo e transtornos imunitários (10,47%), doenças do aparelho circulatório (10,26%), lesões e envenenamentos (7,63%), doenças do aparelho geniturinário (7,56%), e doenças do aparelho digestivo (7,16%). Sendo que no primeiro grupo foram incluídas as internações por parto normal, que se fossem

excluídos do total de internações passaria a ocupar o segundo posto, cedendo o primeiro para as doenças do aparelho respiratório. O grupo de diagnóstico de complicações da gravidez apresentou uma freqüência semelhante a do Estado (respectivamente, 23,6 e 23,9%), já as doenças do grupo do aparelho respiratório foram muito mais freqüentes em Cubatão (respectivamente 14,1 e 22,1%). O elevado percentual desse grupo diagnóstico também ocorre como causa de morte (10% da mortalidade geral e 19% da mortalidade de menores de um ano, em 1983). No grupo de 0 à 9 anos as doenças respiratórias saltam para o primeiro lugar (53,5%) das hospitalizações, enquanto este percentual para o estado foi de 39,1%. Os autores relacionam os resultados a um conjunto de fatores locais: elevado índice de poluição ambiental, as más condições de habitação, alimentação e baixo índice de saneamento básico, o que mostra que o desenvolvimento industrial não melhorou as condições de vida dos munícipes, representando um grave problema de saúde pública. Sugerem ainda que doenças não encontradas na pesquisa devem-se a precariedade dos serviços de saúde do município e a ausência de serviços especializados que levam à procura de atendimento em outras cidades da região. [Rocha et al., 1988]

Estudo experimental utilizando indicadores biológicos para avaliar os efeitos da poluição nas cidades de São Paulo e Cubatão, ambas reconhecidamente poluídas, utilizou ratos com exposição por seis meses em cada região e os comparou com o grupo controle. Os resultados mostraram lesões nas vias aéreas superiores e inferiores das cobaias expostas em Cubatão e lesões apenas nas vias aéreas superiores, porém de grande intensidade, naquelas expostas em São Paulo. Concluíram, portanto, que há diferenças quantitativas e qualitativas nos poluentes entre essas duas cidades. [Bohm et al., 1989]

Em um estudo de coorte realizado em duas fases (fase 1 – 1983 e 1985; fase 2 – 1987,1988 e 1989) com espirometria em crianças de Cubatão, indicou uma tendência a um progressivo decréscimo na função pulmonar dos escolares em ambas as coortes, o que não acompanhou os resultados positivos obtidos pela CETESB através de seu programa de controle das fontes emissoras de poluição do ar. As maiores alterações ocorreram com o decréscimo do pico de fluxo expiratório (o fluxo máximo obtido no início da expiração forçada) e sobre o fluxo máximo expiratório forçado nos quartis intermediários da curva espirométrica ($FEF_{25-75\%}$), que avalia calibre de pequenas vias aéreas, de ambas as coortes, caracterizando um quadro pulmonar obstrutivo. Além disso, a coorte 2, examinada no inverno, mostrou menores valores de fluxo em relação a coorte 1, examinada no verão. [Hofmeister, 1991].

Spektor et al, em colaboração com o estudo de Hofmeister, realizou em 1988, medidas espirométricas em 456 crianças de 6 anos de idade em diferentes localidades de Cubatão, associando aos valores dos poluentes atmosféricos medidos durante o estudo. Os resultados mostraram correlação estatisticamente significativa ($p < 0.001$) para pico de fluxo expiratório, volume expirado forçado no 1º segundo, e fluxo expiratório forçado entre 25 e 75% da capacidade vital forçada (PFE, VEF_1, $FEF_{25-75\%}$, respectivamente) e a média para o PM_{10}. A coorte também mostrou decréscimo do $FEF_{25-75\%}$ ($p < 0.05$) no bairro Nova República, que atende as crianças que anteriormente residiam na Vila Parisi, região desocupada devido estar localizada no centro industrial da cidade. [Spektor et al., 1991]

Investigação interessante determinou uma significante redução na performance cardiorespiratória durante a realização do teste com curta exposição à poluição de Cubatão (aproximadamente 1 hora) em bombeiros que residiam e

trabalhavam em Guarujá, cidade da Baixada Santista. Vinte e cinco voluntários saudáveis realizaram os testes em duas etapas: a primeira em Bertioga (cidade com baixos níveis de poluição), e a segunda em Cubatão, cidade reconhecidamente industrial. Portanto, diante dos resultados obtidos, os autores sugerem que indivíduos com doenças respiratórias ou cardíacas prévias podem sofrer prejuízos em sua saúde após curta exposição a ambientes poluídos. [Oliveira et al., 2006]

Apesar dos estudos relatados acima, ainda há muito que se pesquisar na região devido a magnitude do problema e aos inúmeros potenciais efeitos à saúde que podem advir da exposição às inúmeras substâncias tóxicas presentes na região do Estuário/Cubatão, seja ela por contato, inalação, ingestão ou transfusão materno-fetal.

Além disso, os estudos que se propuseram a analisar os efeitos da exposição à poluição atmosférica a saúde da população local, mais especificamente ao sistema respiratório, foram realizados entre os anos de 1983 e 1990 aproximadamente. A partir desta data, seja pela real queda dos níveis da poluição após as medidas de controle adotadas, ou pelo empenho dos grupos locais em campanhas publicitárias exaltando a recuperação ambiental da cidade, não houve mais investidas nesse tema. O presente estudo foi elaborado para preencher uma lacuna, que a nosso ver, existe e merece nossa atenção e investigação.

2 – Objetivos

Geral:

- Avaliar os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a morbidade respiratória de crianças, adolescentes e idosos, na cidade de Cubatão, entre janeiro de 1997 e dezembro de 2004.

Específico:

- Avaliar os efeitos dos poluentes do ar sobre as internações hospitalares de crianças (0 – 10 anos) por doenças respiratórias e suas estruturas de defasagem na cidade de Cubatão;
- Avaliar os efeitos dos poluentes do ar sobre as internações hospitalares de adolescentes (11 – 19 anos) por doenças respiratórias e suas estruturas de defasagem na cidade de Cubatão;
- Avaliar os efeitos dos poluentes do ar sobre as internações hospitalares de idosos (com 65 anos ou mais) por doenças respiratórias e suas estruturas de defasagem na cidade de Cubatão.

3 – Casuística e Método

3.1 – Tipo de Estudo

Estudo de delineamento ecológico de séries temporais, nos quais a unidade de análise é uma população ou grupo de pessoas que pertencem a área geográfica definida. Os estudos ecológicos avaliam como o contexto ambiental e social podem afetar a saúde de grupos populacionais. São geralmente de baixo custo, pois utilizam dados secundários, ou seja, dados coletados para outras finalidades. Tem como objetivo gerar hipóteses a respeito da ocorrência de uma determinada doença, testar hipóteses etiológicas e avaliar a efetividade de intervenções na população. [Medronho, 2004]

Este tipo de estudo, inicialmente, era usado apenas para levantar hipóteses, ganhando proporções em relação à poluição do ar e saúde na década de 90, com o desenvolvimento de novas técnicas de análise, onde começaram a analisar dados de mortalidade e morbidade pelo Sistema Único de Saúde (DATASUS), e o Programa de Aprimoramento das Informações de Mortalidade (PROAIM), quando começou a ser utilizado para investigar relação causal. Inicialmente baseados em modelos de correlação, os estudos ecológicos de séries temporais passaram a ser desenvolvidos com a utilização de modelos de regressão, incorporando as variáveis de confusão da relação entre poluição e doenças. [Morgenstein, 1998]

3.2 – Dados de Morbidade

Todos os procedimentos realizados durante o período de internação nos hospitais conveniados ao Sistema Único de Saúde (SUS) devem ser notificados através do preenchimento da Autorização de Internação Hospitalar (AIH). Este banco de dados do DATASUS contém informações sobre o número do Cadastro Geral do Contribuinte (CGC) do hospital, cidade e estado de localização do estabelecimento, idade do paciente, causa da internação (codificada pelo Código Internacional de Doenças – CID), data de internação, data de alta e logradouro de residência do paciente, entre outras. Os dados do banco utilizado (DATASUS) foram selecionados por local de moradia e não por localização dos hospitais da cidade. Portanto, foram incluídas internações que ocorreram em hospitais da cidade e da Baixada Santista. Em Cubatão, os hospitais incluídos no estudo são hospitais gerais localizados na região central da cidade.

Este estudo analisou dados secundários através das bases de dados do DATASUS. Foram selecionadas todas as internações por doenças respiratórias (CID 9ª Revisão: 620-519; CID 10ª Revisão: J00 ao J99) de crianças (0-10 anos), adolescentes (11-19 anos) e idosos (com 65 anos ou mais) moradores da cidade de Cubatão, que ocorreram entre os anos de 1997 e 2004, nos hospitais da cidade.

3.3 – Dados sobre a Poluição Atmosférica

Os dados de morbidade foram analisados juntamente com os registros dos níveis diários de poluentes atmosféricos (PM_{10}, NO_2, SO_2, O_3) obtidas junto a CETESB, para o período de 1997 a 2004.

A CETESB dispõe de duas estações fixas de monitoramento na cidade de Cubatão (figura 4). Os registros para os poluentes PM_{10} e SO_2 foram obtidos das duas estações de monitoramento (Centro e Vila Parisi) enquanto o NO_2 e O_3 foram registrados apenas na estação do Centro. As redes de monitoramento da região não registraram os níveis diários do CO, razão pela qual este poluente não será incluído na pesquisa.

Informações sobre temperatura mínima (ºC) e umidade relativa do ar (%) também serão obtidas junto a CETESB.

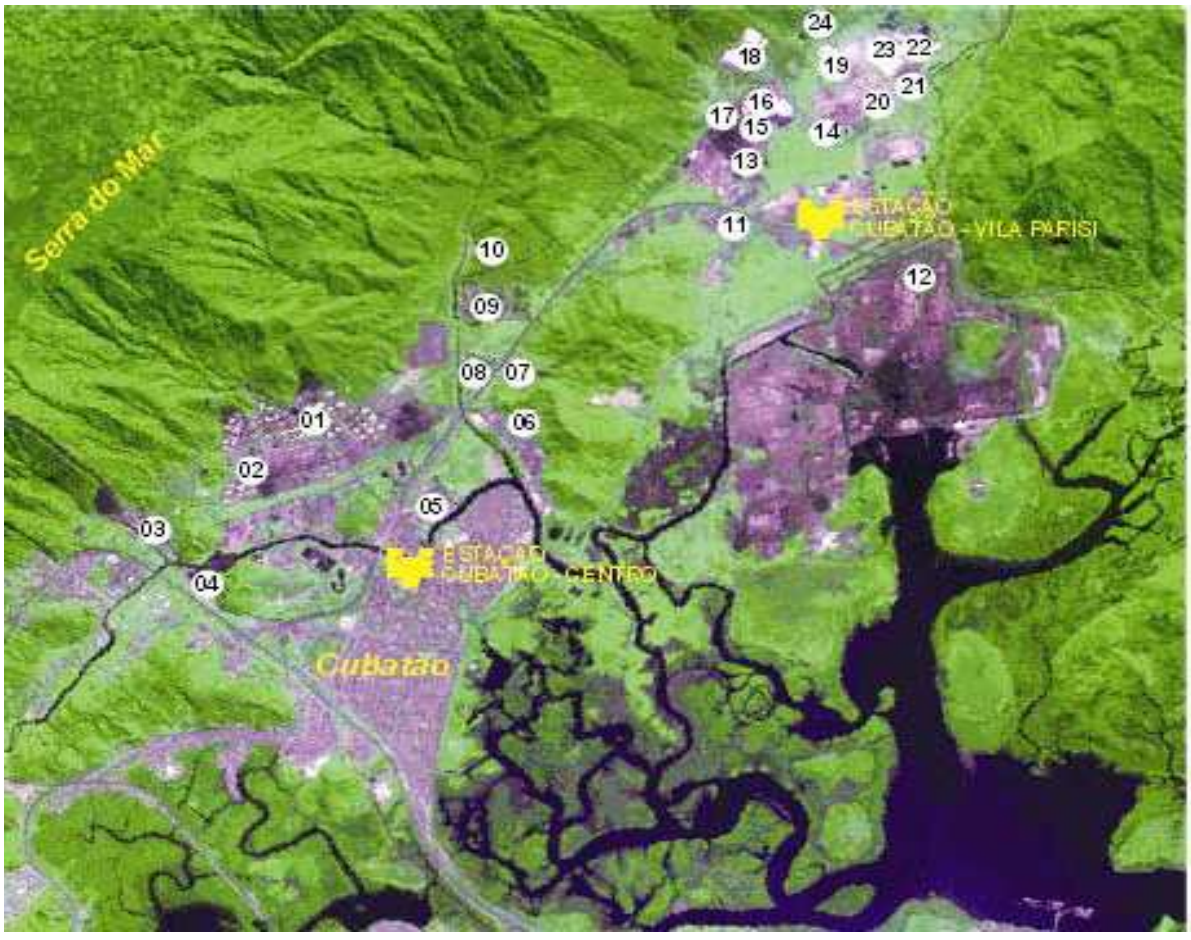

Figura 5 - Estações de monitoramento da poluição do ar em Cubatão
FONTE: CETESB, 2003

3.4 – Análise Estatística

Neste estudo a unidade de análise é o dia do evento e o desfecho de interesse é o número diário de internações por doenças respiratórias.

3.5 – Variáveis de Estudo

- Dependentes:

  As variáveis dependentes são as de desfecho de interesse. Neste estudo foram estratificadas por faixa etária. E estão descritas a seguir:

  RESP0_5: número diário de internações por doenças respiratórias para a faixa etária de 0 a 5 anos.

  RESP6_10: número diário de internações por doenças respiratórias para a faixa etária de 6 a 10 anos.

  RESP0_10: número diário de internações por doenças respiratórias para a faixa etária de 0 a 10 anos.

  RESP11_19: número diário de internações por doenças respiratórias para a faixa etária de 11 a 19 anos.

  RESP65m: número de internações por doenças respiratórias para a faixa etária maior que 64 anos de idade.

- Independentes:

As variáveis independentes de interesse deste estudo são os níveis médios diários de cada poluente atmosférico.

- de Controle:

Para controlar a as variações sazonais. Neste estudo é composta de três variáveis:

- número de dias transcorridos: cada dia do período do estudo foi numerado cronologicamente de 1 a 2922. De 1 de janeiro de 1997 à 31 de dezembro de 2004. Utilizada para controle de alterações e longa freqüência, como as estações do ano.

- dias da semana: foram numerados (1- domingo, 2 – segunda-feira, 3 – terça-feira, 4 quarta-feira, 5 quinta-feira, 6 sexta-feira, 7 sábado). Utilizada para as variações semanais. Durante os finais de semana há uma queda no número de internações hospitalares devido ao funcionamento dos hospitais, o que independe da concentração de poluentes.

Além disso, controlamos os efeitos das variáveis meteorológicas (temperatura mínima diária e umidade relativa do ar média) utilizando médias móveis de dois dias nos modelos.

3.6 – Análise Descritiva

Foi feita uma análise descritiva de cada variável que compõe o banco de dados, com o propósito de melhor caracterizar cada uma dessas variáveis.

Para essa caracterização foram calculados e apresentados os seguintes valores: média; número de dados válidos disponíveis no banco de dados; desvio padrão, valor máximo, valor mínimo, valores dos quartis ou percentis.

3.7 – Análise de Correlação

Também foram analisadas as correlações lineares entre os poluentes e as variáveis meteorológicas através dos coeficientes de correlação de Pearson.

3.8 – Modelos Lineares Generalizados de Regressão de Poisson

Para estimar os efeitos da variação diária na concentração dos poluentes sobre os desfechos de interesse foram utilizados modelos lineares generalizados de regressão de Poisson específicos para cada grupo etário (crianças, adolescentes e idosos). [McCullagh e Nelder, 1989]

A relação não linear entre a sazonalidade de longa duração e os desfechos de interesse (internações hospitalares) foi controlada através de funções de alisamento semi-paramétricas. [Green e Silverman, 1994]

Estudos relatam diferentes padrões de efeitos para temperatura em doenças respiratórias em diferentes cidades com padrões distintos de temperatura. [Braga et al., 2002] Portanto, utilizamos diferentes abordagens para definir a melhor forma de capturar os efeitos da temperatura e umidade sobre as doenças respiratórias.

Além da sazonalidade de longa duração, os estudos realizados com atendimentos de pronto-socorro e internações hospitalares mostram que existem sazonalidades de curta duração influenciando a relação entre poluição atmosférica e saúde. Dias da semana precisam ser controlados nos modelos de regressão, principalmente para desfechos relacionados às admissões hospitalares. Para isso, foram criados indicadores para dias da semana e para os feriados. [Braga et al., 2001]

Para reduzir a sensibilidade da variável dependente a valores extremos da variável independente, foi utilizado o método de regressão robusta (estimador-M).

Os efeitos dos poluentes atmosféricos nos desfechos escolhidos foram investigados através da utilização de defasagens das concentrações dos poluentes em modelos com um único poluente. Efeitos acumulados foram estimados com a utilização de médias móveis as concentrações diárias dos poluentes.

Os resultados foram expressos em aumento percentual nas admissões hospitalares e respectivos intervalos de confiança de 95%, devido a aumentos de um interquartil (a diferença entre o terceiro e o primeiro quartis) nas concentrações dos poluentes e foram estimados através das seguintes fórmulas:

$$A\%[Y] = ((\exp^{(\beta * VIQ)}) - 1) * 100 \quad \textbf{(1)}$$

$$IC95\%\ [A\%[Y]] = ((\exp^{((\beta * VIQ) \pm (EP * VIQ * 1{,}96))}) - 1) * 100 \quad \textbf{(2)}$$

onde ***A%*** é o aumento percentual, ***exp*** é a função exponencial, $\boldsymbol{\beta}$ é o coeficiente do poluente obtido através do modelo de regressão ***VIQ*** é variação interquartil, ***IC*** é intervalo de confiança, ***EP*** é o erro padrão do coeficiente de regressão.

3.9 – Pacotes Estatísticos

Os bancos de dados foram preparados utilizando-se o programa Statistical Package for Social Science (SPSS) para Windows, versão 13.0 (SPSS Inc., Chicado, Estados Unidos). As análises de regressão foram feitas utilizando-se o programa S-PLUS 4.5 (Mathsoft, Inc., Seattle, Estados Unidos).

Este é um estudo com dados secundários, sem a participação de seres vivos. Mesmo assim, ele foi submetido à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da UNISANTOS.

4 – Resultados

4.1 - Análise Descritiva

O período do estudo compreendeu 2922 dias. A Tabela 1 apresenta a análise descritiva das internações por doenças respiratórias no período de estudo.

Tabela 1 – Análise descritiva das internações por doenças respiratórias por faixas etárias na cidade de Cubatão entre janeiro de 1997 e dezembro de 2004

Internações Respiratórias	Média	DP*	Mínimo	1ºIQ†	3ºIQ‡	Máximo
Faixas Etárias						
0 – 5 anos	1,9	1,7	0	1	3	18
6 – 10 anos	0,2	0,5	0	0	0	4
0 – 10 anos	2,1	1,8	0	1	3	18
11 – 19 anos	0,1	0,4	0	0	0	3
65 anos ou mais	0,3	0,6	0	0	1	4

* Desvio-padrão da média; † Primeiro quartil; ‡ Terceiro quartil.

Pode-se observar que as internações mais freqüentes foram na faixa etária de 0 a 10 anos de idade e o menor número de eventos ocorreu entre 11 a 19 anos.

A Tabela 2 descreve a análise descritiva dos poluentes e das variáveis meteorológicas de 1997 a 2004.

Tabela 2 – Análise descritiva dos poluentes e das variáveis meteorológicas entre janeiro de 1997 e dezembro de 2004

	Média	DP*	Mínimo	1ºIQ†	3ºIQ‡	Máximo	UPD
Poluentes							
$PM_{10}C$¶ (µg/m³)	36,4	19,3	5,2	24,6	44	259,6	10x
$PM_{10}VP$¶ (µg/m³)	85,8	46,4	8	59,8	116,4	614,6	288x
SO_2C (µg/m³)	15,8	12,7	1	9,3	22,6	128,5	-
SO_2VP (µg/m³)	24,5	20,1	1	10,5	32,2	183,3	-
NO_2 (µg/m³)	26,7	12,1	2,9	18,4	32,7	117	-
O_3 (µg/m³)	87,4	74,6	5,5	56,5	103,2	686	167x
Variáveis meteorológicas							
Temperatura(ºC)	20	3,5	0	17,5	22,7	42	
Umidade (%)	90,6	9,3	16,6	85,3	95,2	99,4	

* Desvio-padrão da média; † Primeiro quartil; ‡ Terceiro quartil; ¶ Centro; # Vila Parisi.

As médias diárias de PM_{10} apresentaram diferenças evidentes entre as estações do Centro e da Vila Parisi. Nesta última, a média deste poluente foi 2,4 vezes maior do que a observada na estação de monitoramento localizada no centro da cidade e ultrapassou o padrão de qualidade do ar para o poluente (50 µg/m³ de média anual). Na região central ocorreram ultrapassagens do valor de máxima diária (150 µg/m³) em apenas dez dias durante os oito anos avaliados. Na região de Vila Parisi as ultrapassagens do padrão foram freqüentes e sem respeitar a sazonalidade. (Figura 6)

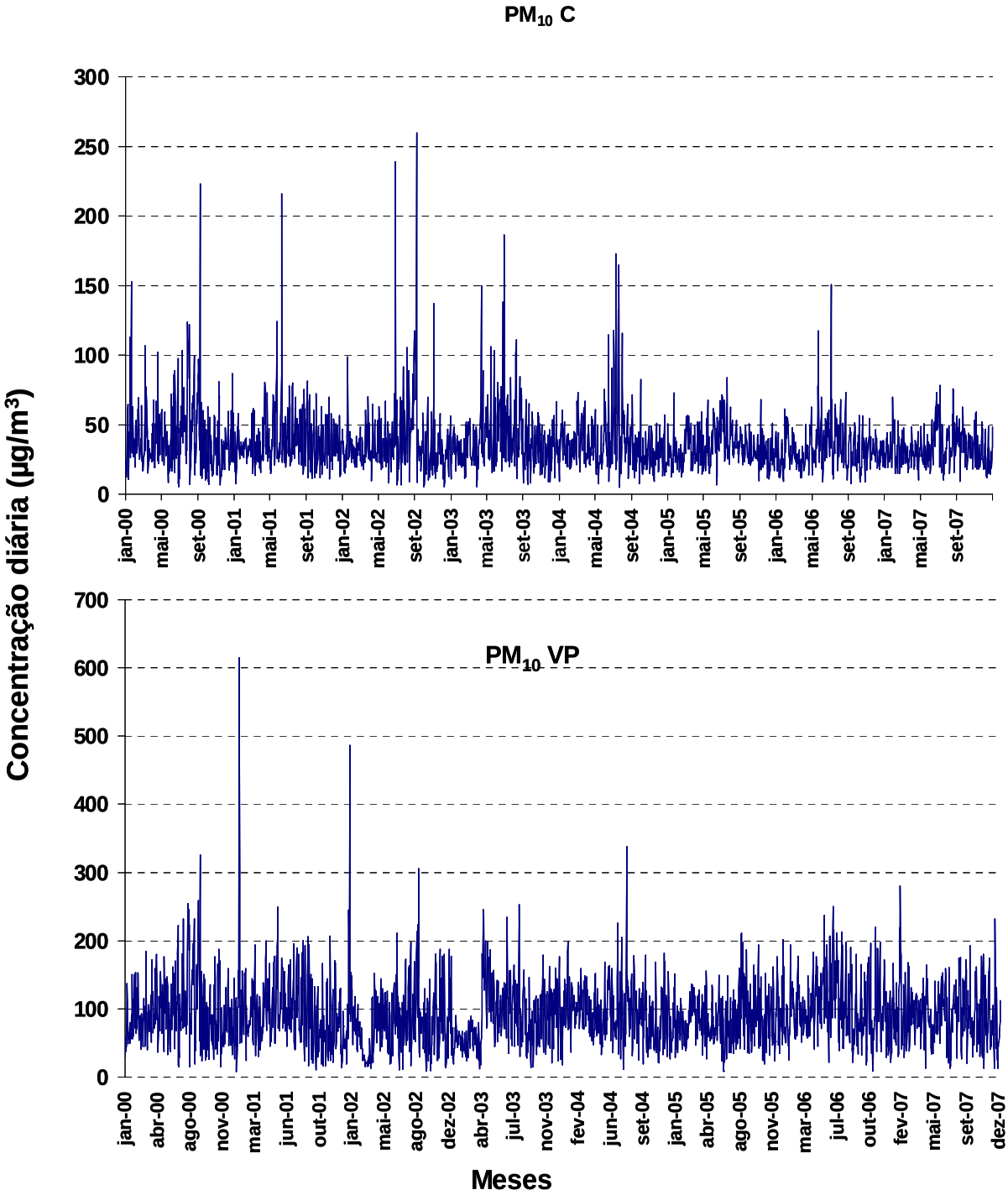

Figura 6 – Valores diários de PM_{10} medidos nas estações Centro (C) e Vila Parisi (VP) ao longo dos 2922 dias do estudo

Em relação ao SO_2, a estação de Vila Parisi registrou a maior média quando comparada à estação do Centro (Tabela 2). Entretanto, a diferença entre as médias registradas pelas duas estações foi muito menor do que a observada para as

medidas de PM_{10}. Além disso, as duas medidas de SO_2 ficaram abaixo do padrão de qualidade para este poluente (80 µg/m^3 de média anual). Não ocorreram ultrapassagens do valor máximo diário para este poluente (365 µg/m^3) ao longo do período de estudo nas duas estações de monitoramento. (Figura 7)

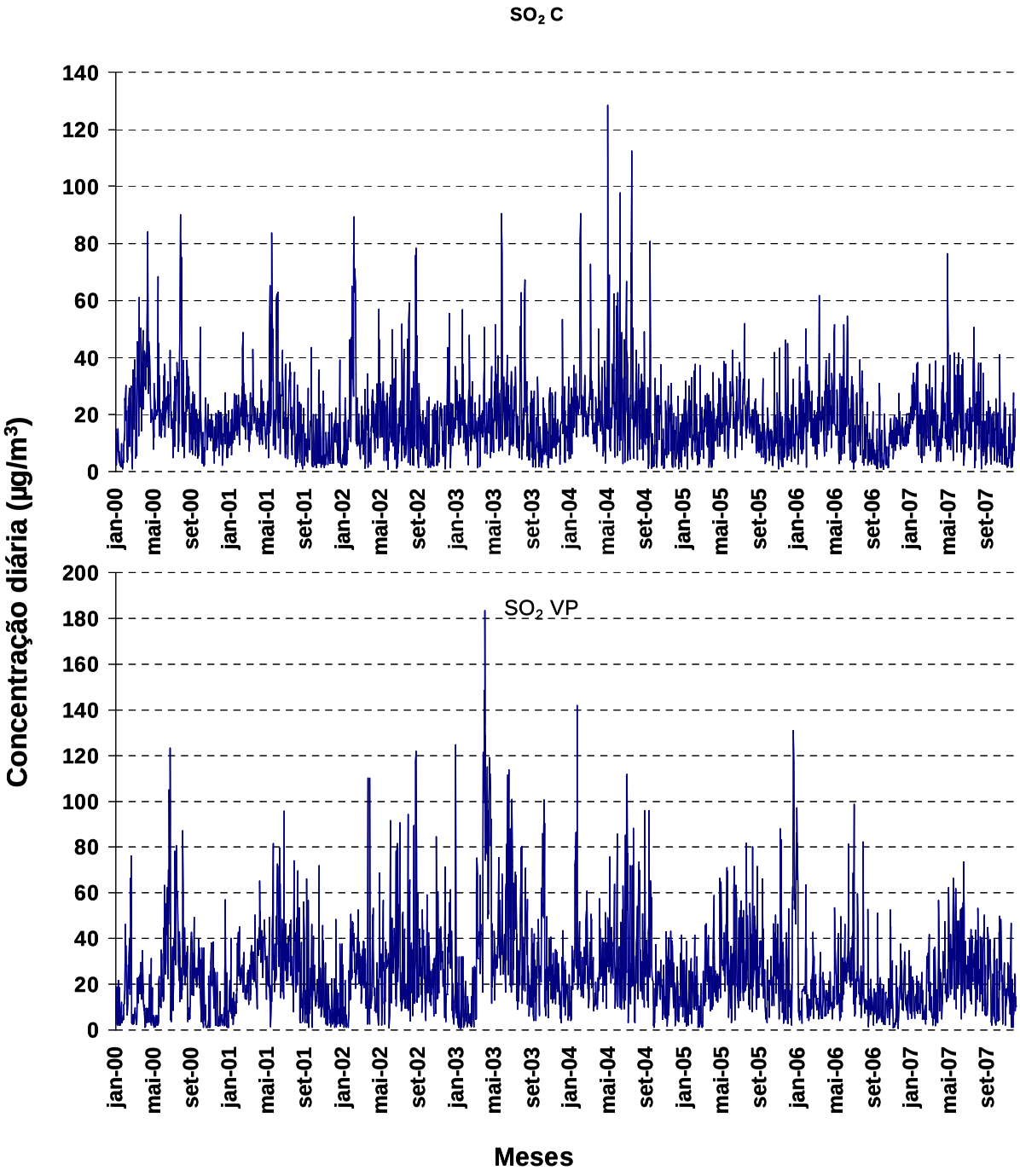

Figura 7 – Valores diários de SO_2 medidos nas estações Centro (C) e Vila Parisi (VP) ao longo dos 2922 dias do estudo

A média do NO_2, medido em apenas uma estação (Centro), esteve abaixo do padrão adotado (100 µg/m^3 de média anual) (Tabela 2). Os valores diários também estiveram aquém do valor máximo tolerado para este poluente que é de 320 µg/m^3. (Figura 8)

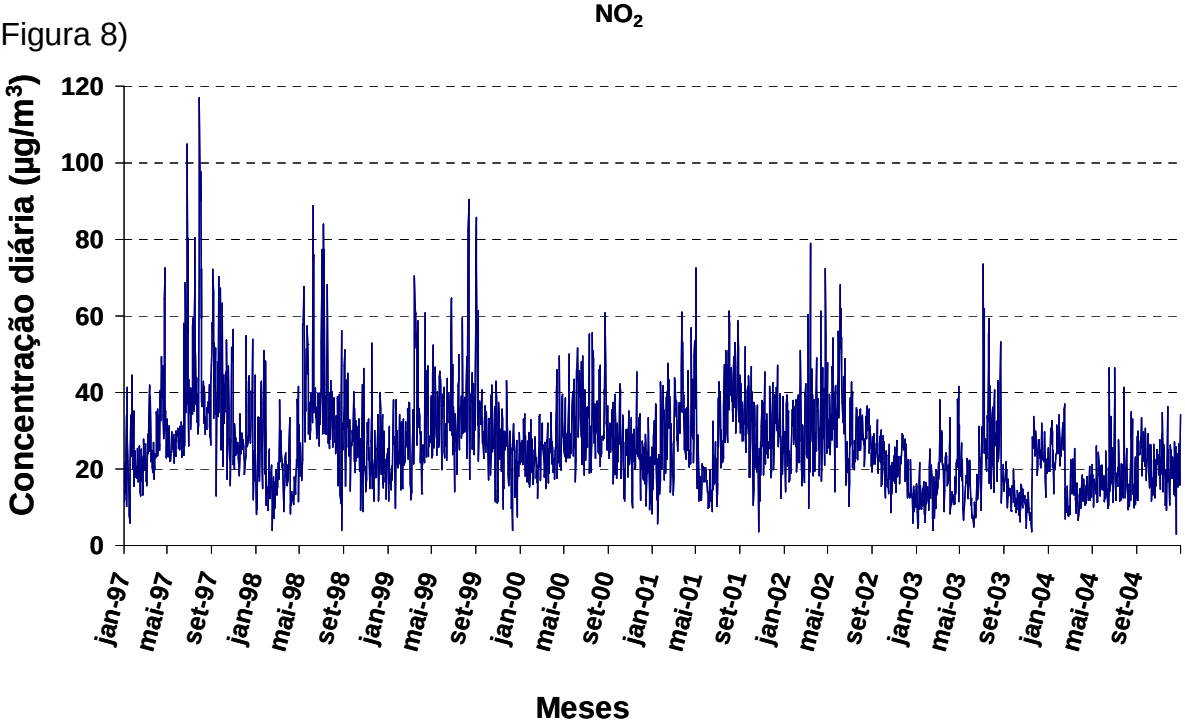

Figura 8 – Valores diários de NO_2 medido na estação Centro ao longo dos 2922 dias do estudo

A Figura 9 mostra os valores diários de O_3 ao longo do período avaliado.

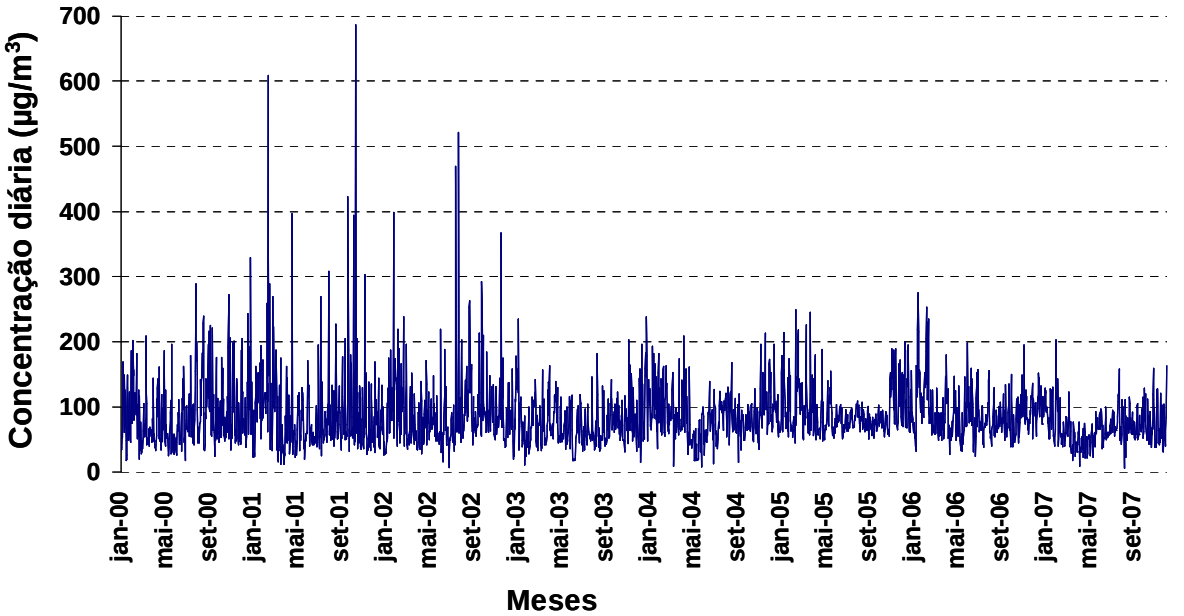

Figura 9 – Valores diários de O_3 medido na estação Centro ao longo dos 2922 dias do estudo

As ultrapassagens do valor máximo de uma hora (160 µg/m^3) foram inúmeras e mais freqüentes nos meses mais quentes.

A Figura 10 mostra os valores diários da temperatura mínima e da umidade relativa do ar ao longo do período de estudo.

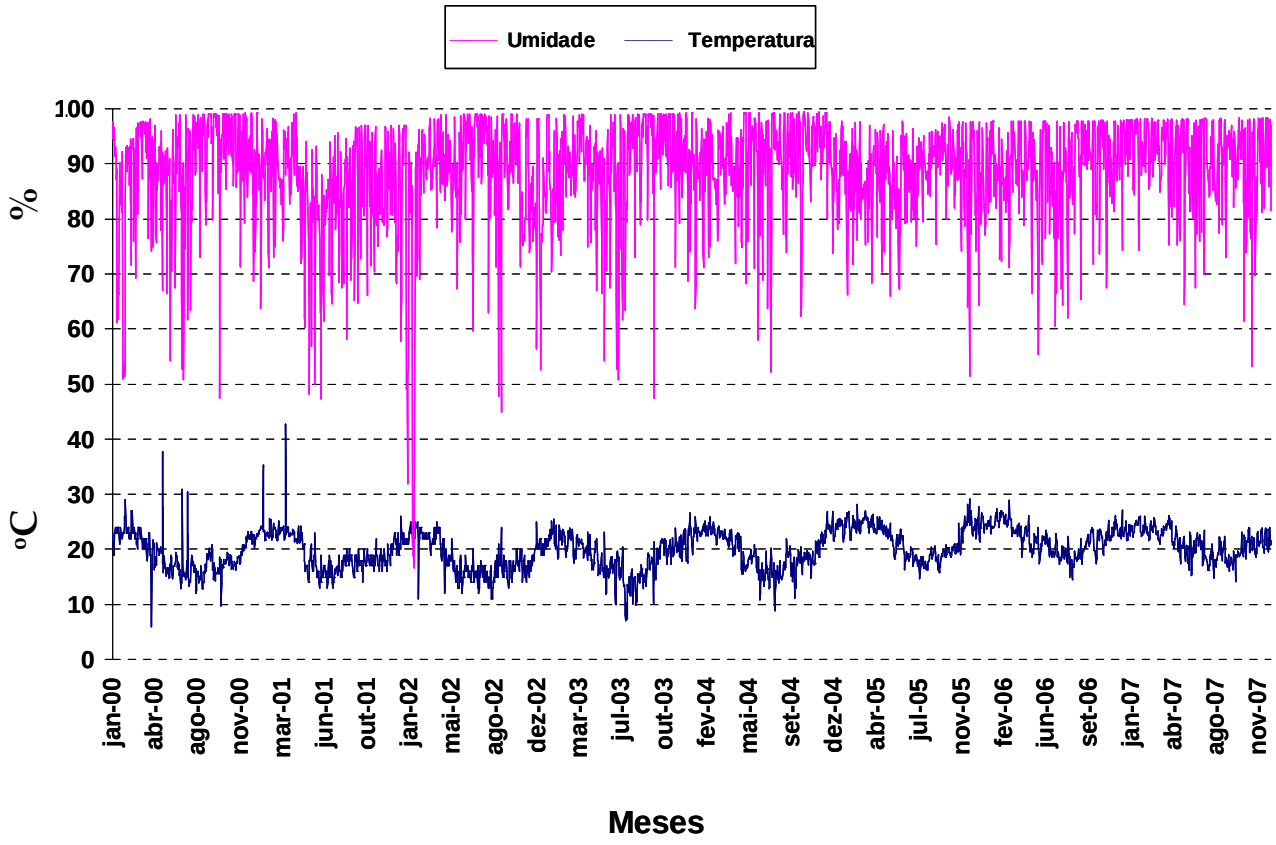

Figura 10 – Valores diários de temperatura mínima e de umidade relativa do ar em Cubatão entre janeiro de 1997 e dezembro de 2004

Observa-se que as medidas apresentavam mais variações no início da série de tempo analisada. Mesmo assim, são raros os dias com baixas temperaturas mínimas nos invernos. Em relação à umidade relativa média do ar nota-se um grande número de dias com umidade média superior a 80%, caracterizando a cidade como de clima tropical, quente e úmido.

4.2 - Análise de Correlação

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre os poluentes e as variáveis meteorológicas.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson para poluentes e variáveis meteorológicas

	NO_2 C	O_3 C	PM_{10} C	PM_{10} VP	SO_2 VP	SO_2 C	TEMP
NO_2 C							
O_3 C	0,20**						
PM_{10} C	0,42**	0,24**					
PM_{10} VP	0,29**	0,16**	0,59**				
SO_2 VP	0,24**	0,08**	0,30**	0,30**			
SO_2 C	0,33**	0,13**	0,40**	0,33**	0,33**		
TEMP	-0,27**	0,12**	-0,06**	-0,01	-0,17**	-0,07**	
UMID	-0,13**	-0,16**	-0,28**	-0,24**	-0,25**	-0,29**	-0,07**

** $p < 0,01$

Todos os poluentes primários apresentaram correlações positivas e estatisticamente significativas entre si. O ozônio também mostrou associação positiva e estatisticamente significativa com os poluentes primários, mas com menor magnitude. As medidas de PM_{10} feitas na região central e na Vila Parisi apresentaram correlação próxima a 0,6. Por outro lado, as medidas de SO_2 feitas nas mesmas estações apresentaram correlação positiva bem menor do que a observada para o PM_{10}.

4.3 – Estimativas de Associação entre Poluentes e Internações Hospitalares por Doenças Respiratórias

A Figura 11 apresenta as estimativas de aumento percentual nas internações por doenças respiratórias em crianças com menos de seis anos de idade devido a aumentos de um interquartil nas concentrações diárias de PM_{10} médio (média dos valores registrados no Centro e na Vila Parisi).

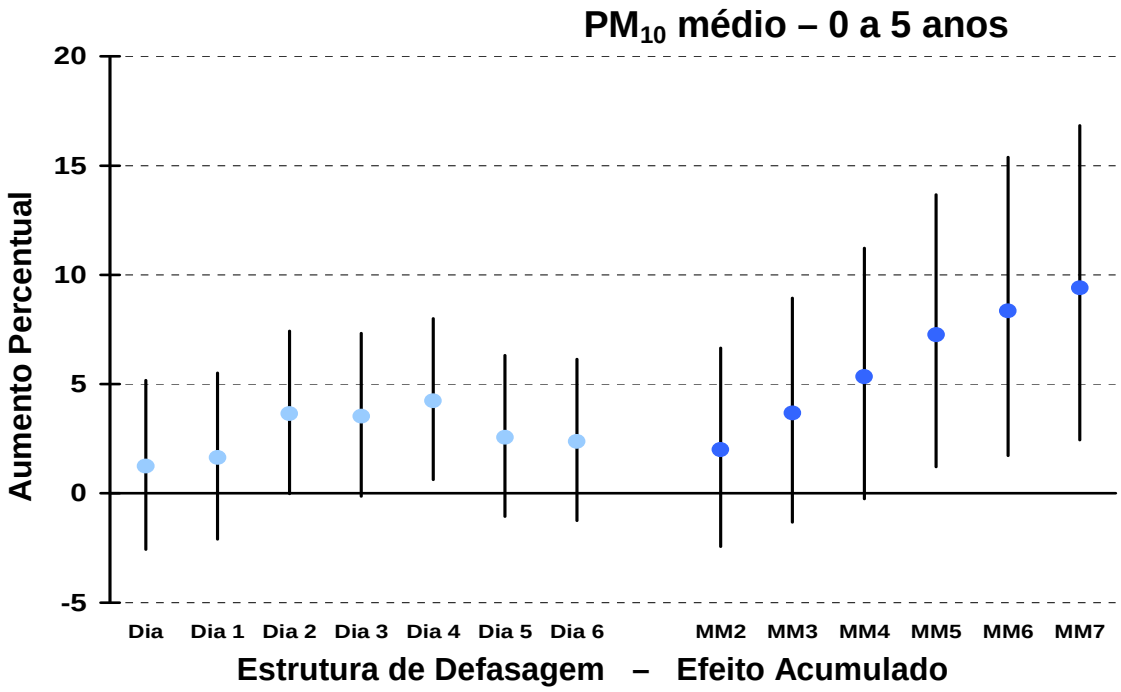

Figura 11 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (36,1 µg/m^3) na concentração de PM_{10} médio

Na análise da estrutura de defasagem observa-se um efeito sempre positivo que se torna estatisticamente significativo no segundo dia após o aumento do poluente e que assim permanece por três dias. Até seis dias após o aumento do

poluente pode-se chegar a um aumento de 10% nas internações de crianças nesta faixa etária.

Quando as análises foram feitas com as concentrações específicas de cada uma das estações de monitoramento observou-se que o padrão de defasagem era mais longo para o PM_{10} medido na Vila Parisi (Figura 12) do que o registrado na estação Centro (Figura 13). As estimativas de efeito acumulado apresentaram magnitudes diferentes de acordo com o local de monitoramento do poluente, reflexo direto de diferenças nas concentrações registradas nas duas áreas analisadas. Adotamos a estimativa feita com o PM_{10} médio para representar o efeito esperado do poluente no desfecho indicado.

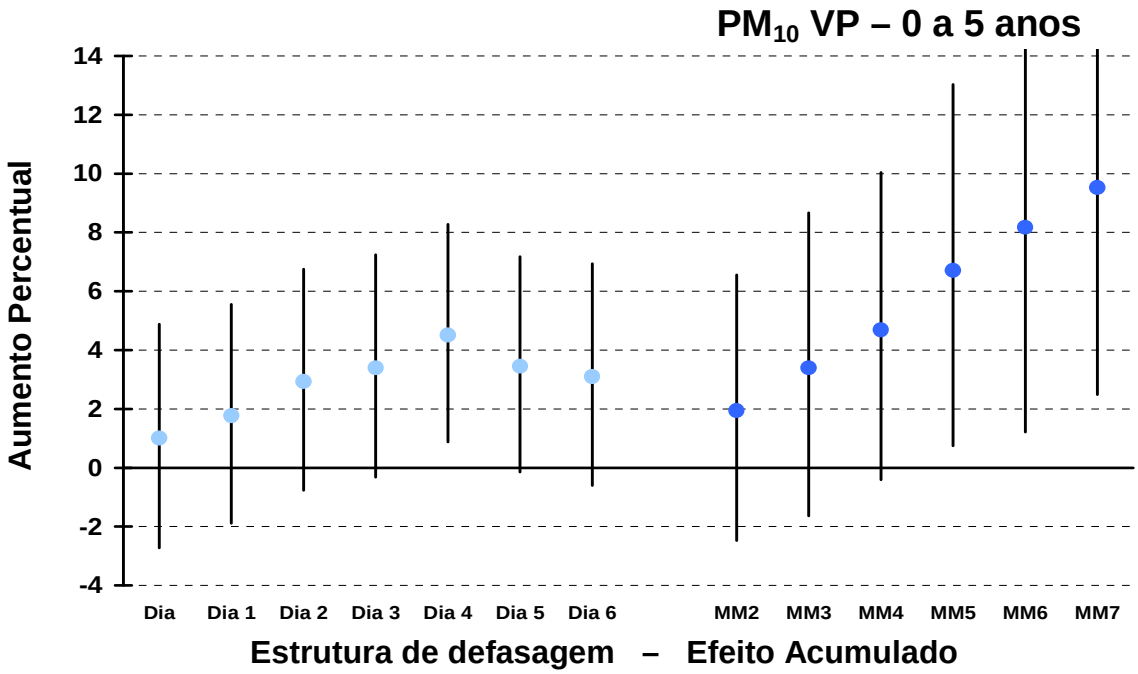

Figura 12 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (56,5 µg/m^3) na concentração de PM_{10} VP

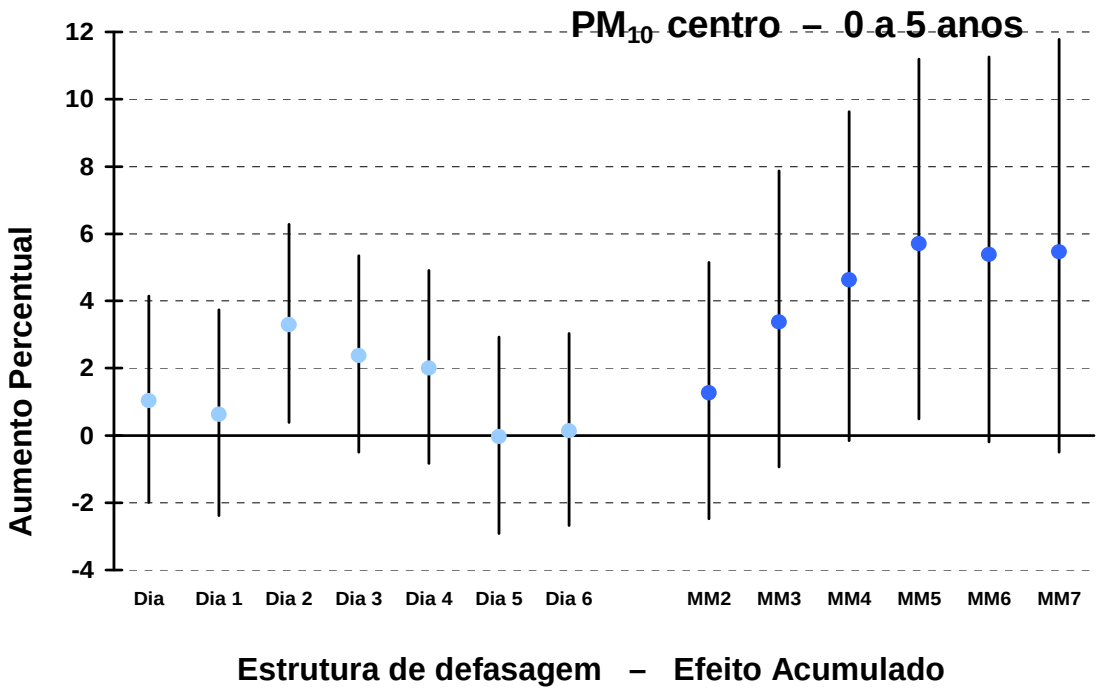

Figura 13 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (19,4 µg/m^3) na concentração de PM_{10} C

As análises dos efeitos de PM_{10} nas internações de crianças de 6 a 10 anos de idade por doenças respiratórias não apresentaram efeitos estatisticamente significativos e nem um padrão de estrutura de defasagem definido.

Quando agrupamos as crianças menores de 10 anos em um único grupo observamos um padrão de efeito bastante semelhante ao observado para as crianças com cinco anos ou menos para variações nas concentrações do PM_{10} médio (Figura 14).

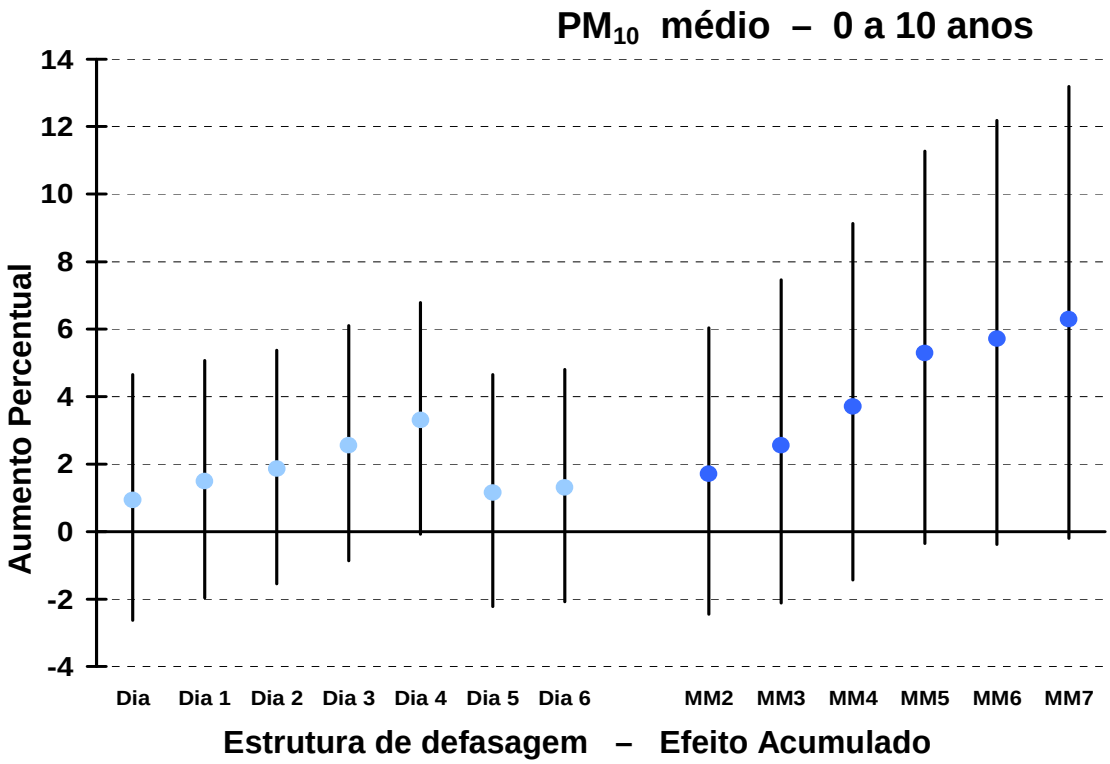

Figura 14 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até dez anos de idade devido a um aumento de um interquartil (36,1 µg/m^3) na concentração de PM_{10} médio

Entretanto, as magnitudes do efeito acumulado e dos dias ao longo da estrutura de defasagem foram menores, pois apenas as estimativas com o PM_{10} da Vila Parisi (Figura 15) apresentaram efeitos estatisticamente significativos.

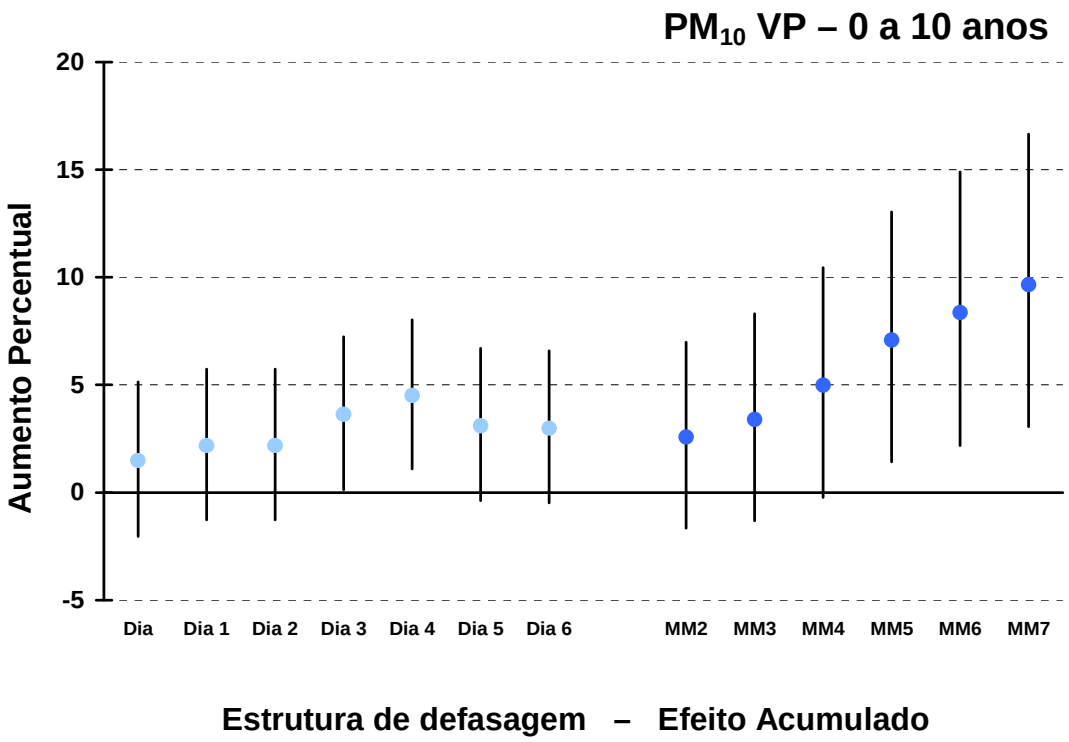

Figura 15 - Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até dez anos de idade devido a um aumento de um interquartil (56,5 µg/m^3) na concentração de PM_{10} VP

Os efeitos do SO_2 sobre as internações respiratórias foram menores do que os observados para o PM_{10} e impactaram, de modo relevante, apenas aqueles com mais de 64 anos. A Figura 16 apresenta as estimativas de aumento percentual nas internações por doenças respiratórias nesse grupo etário devido a aumentos de um interquartil na concentração do SO_2 médio.

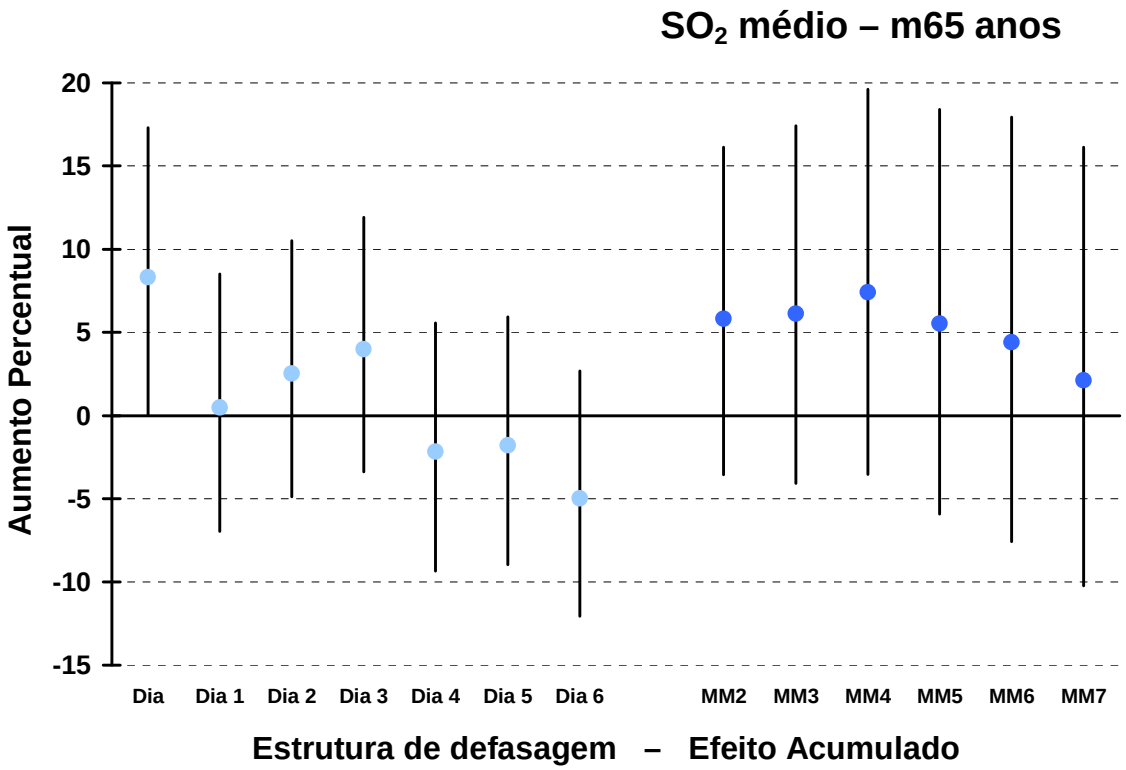

Figura 16 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (14,6 µg/m^3) na concentração de SO_2 médio

Observa-se um efeito agudo, apenas no dia do aumento do poluente, mas que atingiu os 9% de acréscimo nas internações. Não foram observados efeitos acumulados estatisticamente significativos. Este padrão observado para variações no SO_2 médio foi influenciado, diretamente, pela exposição ao poluente medido na região central da cidade que, quando comparado ao SO_2 da Vila Parisi, foi aquele que mais esteve associado com os efeitos adversos nessa faixa etária. (Figura 17)

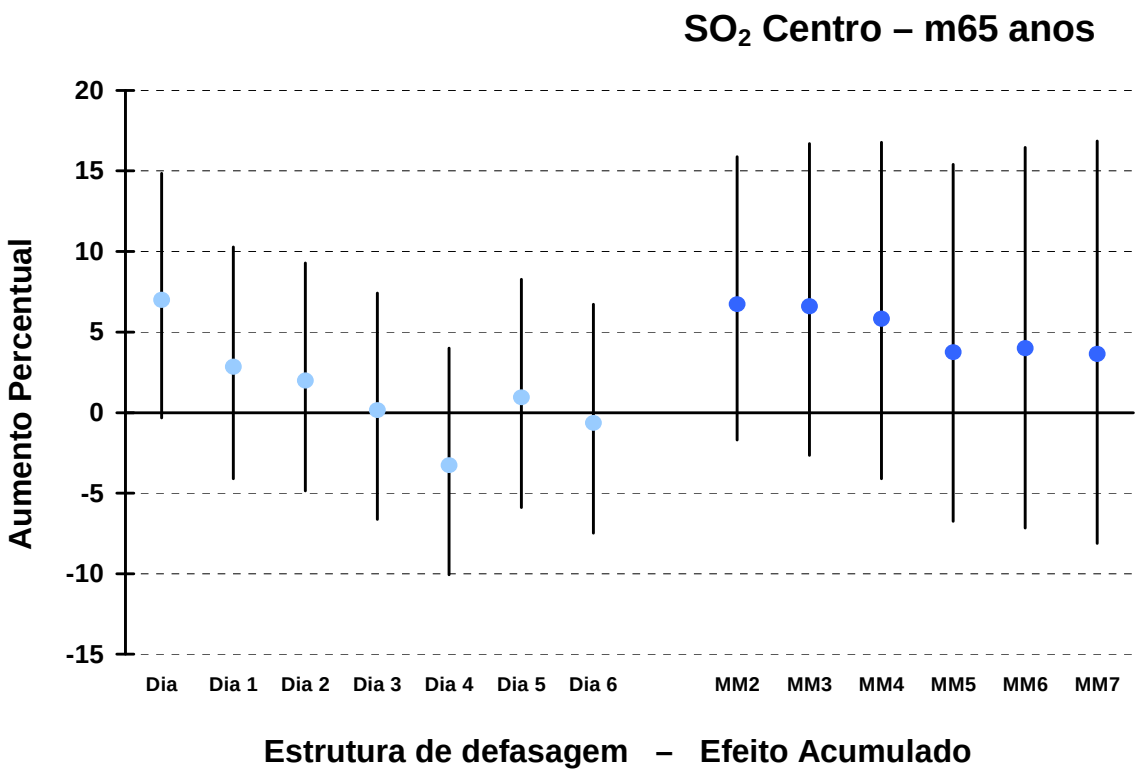

Figura 17 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (13,3 µg/m^3) na concentração de SO_2 C

Tanto o NO_2 quanto o O_3 foram medidos apenas na região central da cidade. Portanto, suas estimativas de efeito estão relacionadas aos valores medidos em apenas uma estação de monitoramento.

Entre todas as faixas etárias analisadas, as variações diárias na concentração do NO_2 impactaram apenas os idosos, assim como ocorreu com o SO_2. A Figura 18 apresenta as estimativas de aumento percentual nas internações por doenças respiratórias em idosos devido a aumentos de um interquartil na concentração do NO_2.

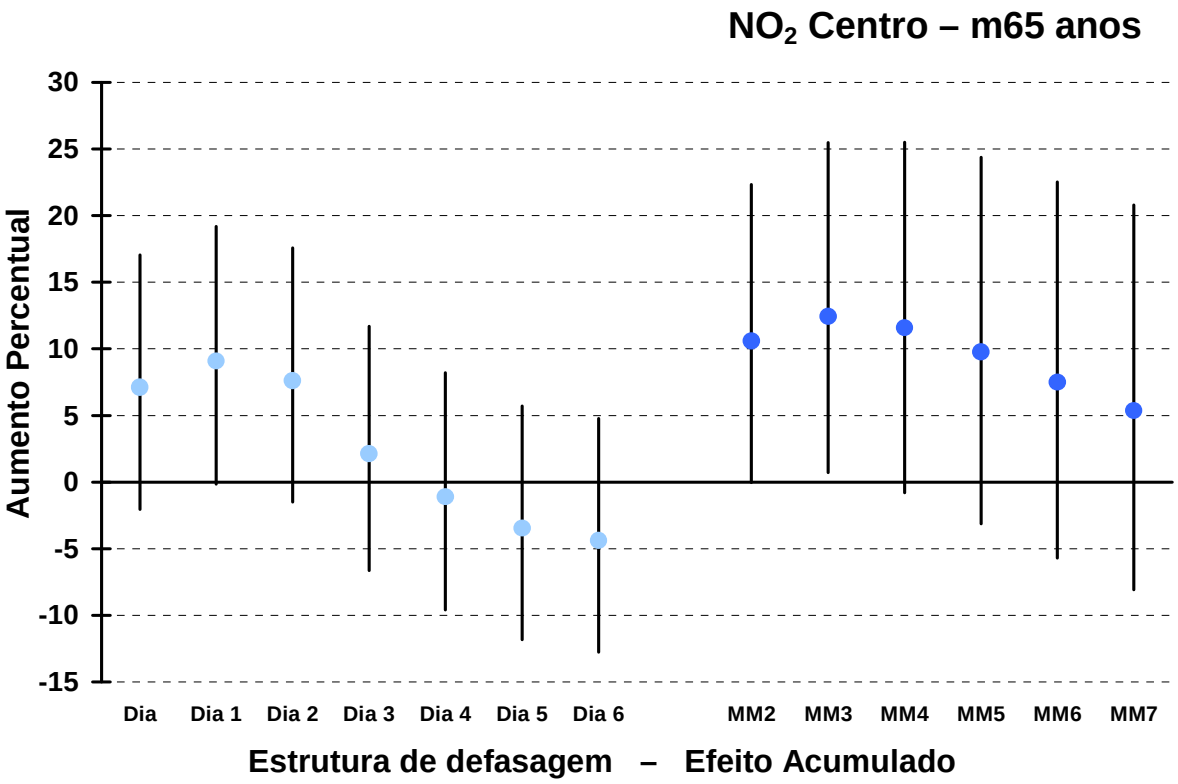

Figura 18 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (14,2 µg/m^3) na concentração de NO_2

Pode-se considerar que o efeito atribuído ao NO_2 foi mais prolongado do que o do SO_2, pois se prolonga por três dias, como pode ser constatado na parte que avalia o efeito acumulado. Além disso, a magnitude do efeito acumulado (média móvel de três dias) foi a maior observada para os quatro poluentes em todas as faixas etárias analisadas.

O O_3 foi o poluente que apresentou efeito em um maior número de faixas etárias. Para crianças e adolescentes, as estruturas de defasagem apresentaram padrões semelhantes, com efeito agudo (dia da exposição) e perda do efeito no dia seguinte. Para as crianças até dez anos de idade ainda foram observados efeitos acumulados de até cinco dias. (Figuras 19 e 20)

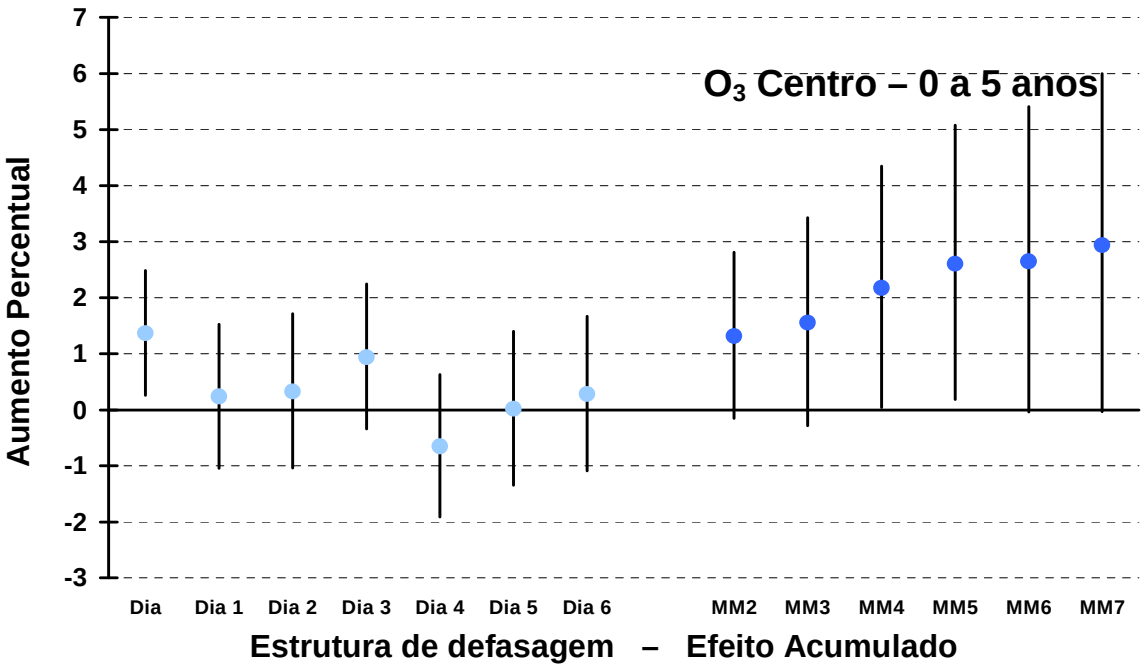

Figura 19 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3

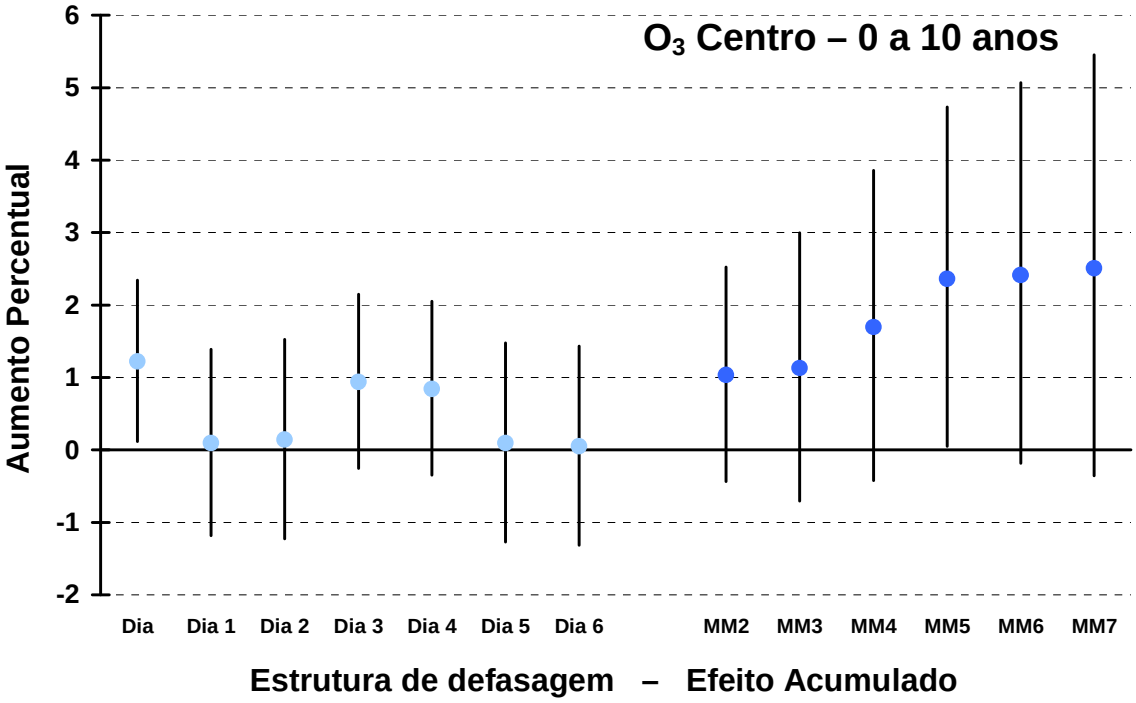

Figura 20 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até dez anos de idade devido a um aumento de um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3

Entre os adolescentes, o efeito encontrado foi ainda mais agudo do que o observado para as crianças, apesar de ter maior magnitude no dia da exposição. (Figura 21)

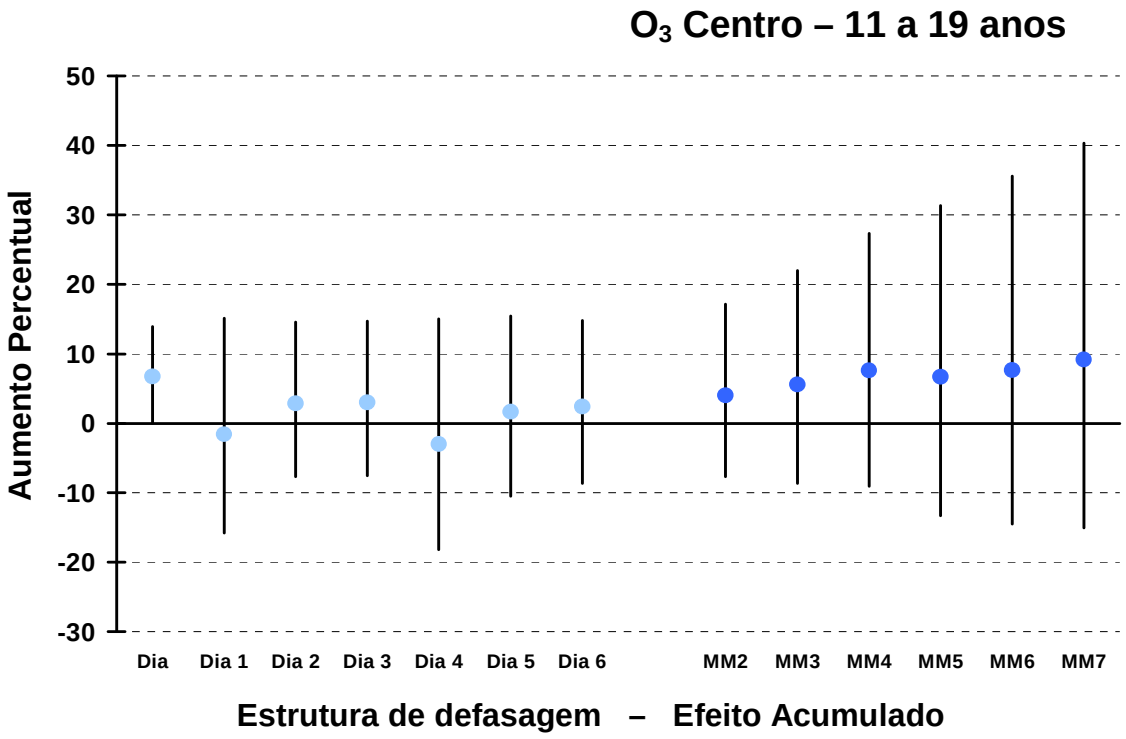

Figura 21 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de crianças com até cinco anos de idade devido a um aumento de um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3

Entre os idosos, os efeitos do O_3 foram mais prolongados, com efeitos positivos e estatisticamente significativos sendo observados até quatro dias após o aumento do poluente. Com isso, os efeitos acumulados foram crescentes, e a variação positiva de um interquartil na concentração de O_3 esteve associada a acréscimo médio de pouco mais de 10% nas internações hospitalares por doenças respiratórias nessa faixa etária. (Figura 22)

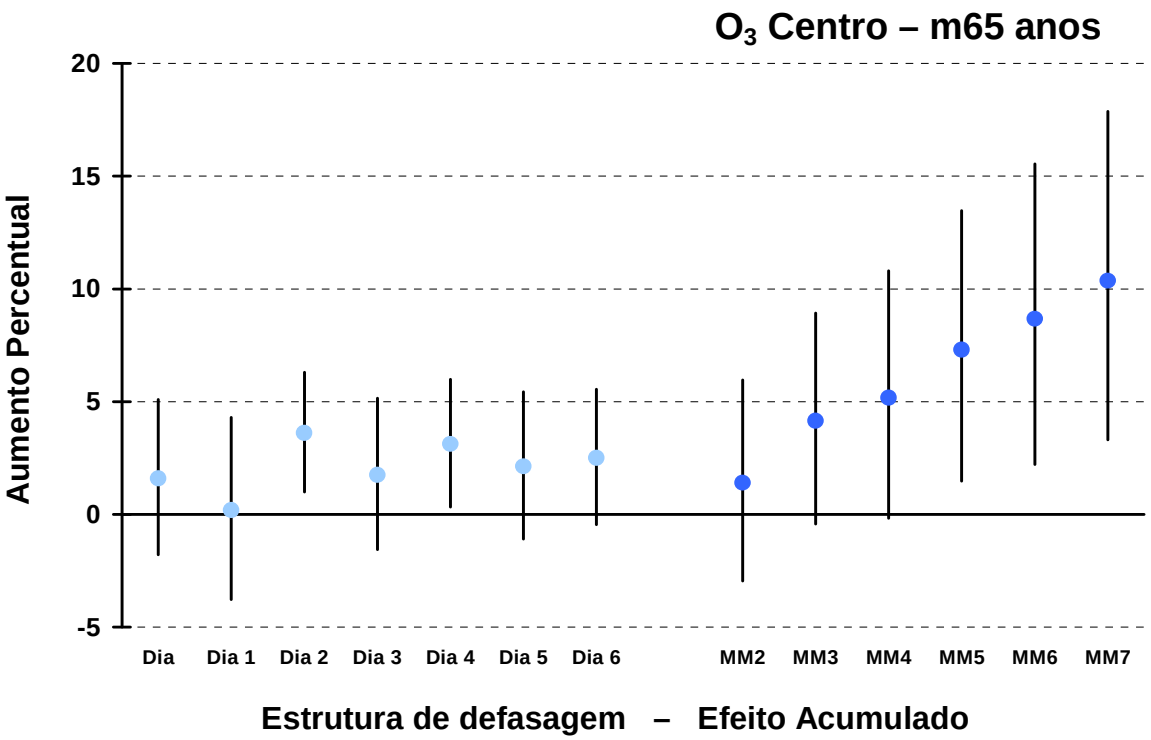

Figura 22 – Aumento percentual nas internações por doenças respiratórias de idosos com 65 anos ou mais devido a um aumento de um interquartil (46,7 µg/m^3) na concentração de O_3

5 – Discussão

Este estudo mostrou que na cidade de Cubatão, entre a segunda metade da década de 1990 até 2004, apesar de haver uma redução nos níveis de poluição atmosférica desde o início de seu monitoramento, os poluentes analisados (PM_{10}, SO_2, NO_2 e O_3) apresentaram efeitos relevantes sobre a saúde dos moradores da cidade. Esse efeito foi avaliado através das internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças, adolescentes e idosos. Os idosos foram os mais afetados pela variação diária dos poluentes, enquanto que os adolescentes aparentemente foram os menos afetados.

Os efeitos encontrados resistiram à inclusão das variáveis de confusão classicamente utilizadas em estudos semelhantes: tendências de longa (sazonalidade) e curta (dias da semana) duração e as variáveis meteorológicas. Tem sido demonstrado por outros autores que a exclusão de características ou variáveis que não apresentam periodicidades concordantes com a variável dependente e com as variáveis independentes não introduz nas estimativas um viés sistemático e, portanto, não comprometem o estudo. [Braga, 1998] Mesmo com toda a precaução adotada na escolha das variáveis de confusão incluídas nos modelos não se pode excluir, definitivamente, a omissão de alguma delas, mesmo que isso seja altamente improvável.

Indicadores de uso de serviços de saúde só podem ser referidos a uma população quando o local de moradia dos usuários é conhecido. O local de moradia dos usuários dos serviços é um dado fundamental para a análise do fluxo de pacientes entre municípios e distritos sanitários, informação importante para o planejamento/programação da oferta de serviços de saúde e para a alocação de

recursos financeiros. [Veras e Martins, 1994] No banco de dados obtido junto ao DATASUS as internações foram selecionadas pelo local de moradia, ou seja, moradores da cidade de Cubatão, e não por localização dos hospitais. Portanto, morador da cidade que internou em cidade vizinha também foi incluído na pesquisa.

Veras e Martins (1994), comparando as informações extraídas do sistema de arquivos eletrônicos com os registros de informações de cada paciente avaliado em determinados hospitais, concluíram que houve considerável acordo entre as informações, especialmente para o diagnóstico e variáveis demográficas. Entretanto, no presente estudo foi utilizada a doença respiratória como causa de internação hospitalar e não patologias respiratórias específicas, na tentativa de reduzir o erro de classificação de doença, uma vez que os dados do SIH/SUS foram obtidos em ambientes hospitalares diversificados.

A estratificação por faixa etária foi adotada para que a investigação especificasse as faixas etárias mais susceptíveis, ou seja, as crianças e idosos, informação esta já consolida por vários estudos epidemiológicos nacionais e internacionais. [Braga et al., 1999; Braga et al., 2001a; Schwartz, 2004; Cançado et al., 2006b]

Os dados de qualidade do ar utilizados no estudo, valores diários dos poluentes medidos pela CETESB entre 1997 e 2004, podem ser considerados de boa qualidade uma vez que a companhia tem experiência no tema e tem sido parceira de diferentes pesquisadores brasileiros em estudos de contaminação atmosférica e efeitos na saúde nos últimos 20 anos. Entretanto, dois fatos podem ser lamentados: a ausência de dados de CO para o período estudado e a falta de medidas realizadas em mais de um ponto para NO_2 e O_3. A topografia da região, as correntes de vento, a distribuição irregular da população e das indústrias pela área

podem criar micro-ambientes com características peculiares e, conseqüente, diferenciação na exposição e nos efeitos observados. A presença de mais monitores que registrem todos os poluentes primários e o ozônio poderia melhorar a análise da qualidade do ar nos diferentes nichos geográficos e populacionais da região.

Os estudos que utilizam dados do Sistema Único de Saúde apresentam uma limitação inerente ao próprio sistema: excluem dados dos hospitais particulares que não estão conveniados ao SUS. Desse modo, generalização dos resultados deverá ser feita para populações que apresentem as mesmas características daquela atendida pelos hospitais conveniados ao SUS e que habitem áreas onde a complexidade da mistura de poluentes do ar de diferentes fontes se assemelhe à encontrada na região de Cubatão.

5.1 – Os estudos de séries temporais como ferramenta de investigação epidemiológica

Como definição, pode-se dizer que uma série temporal, também denominada série histórica, é uma seqüência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico. [Morettin[3] citado por Latorre et al., (2001)] Este conjunto pode ser obtido através de observações periódicas do evento de interesse ou através de processos de contagem. A população analisada funciona como seu próprio controle ao longo do tempo. [Morgenstein, 1998]

Há um conjunto de técnicas estatísticas disponíveis que dependem do modelo utilizado (ou estimado), bem como do tipo de série analisada e do objetivo do trabalho. [Latorre et al., 2001]

[3] Morettin PA, Toloi, CMC. Previsão de séries temporais. 2ª ed. São Paulo: Atual Editora; 1985.

Os estudos epidemiológicos de séries temporais democratizaram a epidemiologia ambiental. O baixo custo, a rapidez de execução e as técnicas estatísticas adequadas levaram a uma disseminação deste tipo de estudo focando os efeitos agudos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde. [Massoni, 2006] Entretanto os estudos ecológicos têm se mostrado de grande valia na abordagem dos efeitos sobre a saúde, visto a impossibilidade da realização de estudos experimentais em humanos. [Braga et al., 1999]

Apesar dos problemas metodológicos evidenciados nos últimos anos em relação à análise dos dados através de modelos de regressão de Poisson aditivos (Green e Silverman, 1994; Dominici et al., 2002) ou lineares [McCullagh e Nelder, 1989], a experiência e os trabalhos desenvolvidos pelo Núcleo de Estudos em Epidemiologia Ambiental do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da USP mostram que esta abordagem, resguardados os cuidados técnicos necessários na modelagem e na interpretação dos dados, ainda é ferramenta útil e reconhecida nos estudos epidemiológicos que avaliam os efeitos agudos da exposição aos poluentes do ar.

No presente estudo, os modelos lineares de regressão de Poisson construídos e seus ajustes, em relação ao número de pontos utilizados nos alisamento da série e ao ajuste da soma da auto-correlação dos resíduos, foram definidos levando em conta a plausibilidade biológica e os graus de liberdade, minimizando a possibilidade de viés sistemático nas estimativas de efeito.

5.2 - Contextualizações dos resultados de Cubatão em relação à literatura específica

A existência de associação entre morbidade respiratória e níveis de poluição atmosférica já foi detectada e comprovada em vários estudos realizados no Brasil [Braga et al., 1999; Braga et al., 2001a; Martins et al., 2002a; Martins et al., 2002b; Lin, 2003; Gouveia, 2003] e no mundo. [Atkinson et al., 2001; Dominici et al., 2006]

Este estudo e outros já mencionados vêm mostrando que mesmo em baixas concentrações a poluição atmosférica está associada com efeitos na saúde. [Schwartz, 2004] Contudo, questões como qual ou quais poluentes tem associação mais robusta com os efeitos à saúde ainda não estão esclarecidas. A tentativa de isolar os efeitos individuais dos diferentes poluentes é uma tarefa difícil devida, principalmente, à correlação positiva usualmente presente entre os poluentes primários.

A maior parte dos estudos que avalia os efeitos dos poluentes do ar sobre as internações hospitalares por doenças respiratórias foi realizada na década de 1990. Desde então, o interesse passou a ser maior em relação aos efeitos cardiovasculares dos poluentes atmosféricos. Entretanto, os estudos mais recentes que utilizam as doenças respiratórias como um indicador dos efeitos adversos dos contaminantes do ar mostram que este tema está longe de se esgotar.

De acordo com os resultados da presente análise, a morbidade respiratória para crianças e adolescentes mostrou associação positiva com PM_{10} e O_3. Ocorreu um incremento de aproximadamente 10% nas internações por doenças respiratórias para menores de 5 anos para PM_{10} médio, para aumento de um interquartil na concentração do poluente. O padrão de defasagem foi mais longo e o efeito de

maior magnitude para a Vila Parisi e magnitudes diferentes entre centro e VP. Este fato pode ser devido às diferenças nas concentrações entre as duas áreas e/ou diferença na composição das partículas. O O_3 foi o único poluente que demonstrou efeito para todas as faixas etárias. Apresentou efeito agudo para as crianças e adolescentes, no dia da exposição, com acréscimos de 1,3 % e 6,8%, respectivamente, para um incremento de uma variação interquartil na concentração diária do poluente.

Estudo realizado no início da década de 90, na cidade de São Paulo, quando os níveis de poluentes atmosféricos eram maiores dos que os atuais, mostrou que uma variação de 70µg/m^3 na concentração diária de PM_{10} esteve associada com um aumento de 12% nas internações hospitalares por doenças respiratórias. [Braga et al., 1999] Se utilizássemos a mesma variação do estudo de Braga et al. [1999] para o efeito estimado em Cubatão para crianças obteríamos um aumento de, aproximadamente, 20% nas internações. Isto evidencia o fato de a poluição em Cubatão, entre 1997 e 2004, ser mais associada às internações por doenças respiratórias do que em São Paulo, no início da década de 1990. Em uma avaliação estratificada por faixas etárias com dados do período entre 1993 e 1997 na cidade de São Paulo, Braga et al. [2001] mostraram que as crianças com até 2 anos de idade formam o grupo mais susceptível aos efeitos do PM_{10}. Em relação ao O_3, ele se mostrou associado apenas com efeitos adversos entre as crianças menores de 3 anos, sem afetar os adolescentes. Este comportamento difere do encontrado em Cubatão provavelmente porque os níveis de O_3 durante o presente estudo eram muito maiores do que os observados em São Paulo entre 1993 e 2007.

Estudos realizados com dados do período entre 1992 e 2000 na cidade de São Paulo mostram que os efeitos do PM_{10} e O_3 sobre as crianças são consistentes

ao longo das séries de tempo analisadas [Gouveia e Fletcher, 2000; Gouveia et al., 2003; Freitas et al., 2004; Gouveia et al., 2006]. Farhat et al. [2005] mostraram que o O_3, assim como o SO_2 e o CO estão associados com internações tanto de doenças respiratórias infecciosas quanto inflamatórias entre crianças e adolescentes.

Estudo realizado em Toronto, Canadá, evidenciou associação do O_3 e problemas respiratórios em crianças menores de 2 anos, gerando aumento de até 35% (IC95%: 19-52%) nas internações na média móveis de 5 dias para aumento de 45ppb de no valor máximo de 1h de O_3 nos meses quentes. [Burnett et al., 2001]. Lin et al. [2005], quatro anos após o estudo de Burnet reforça os achados mostrando que níveis baixos de concentração de partículas inaláveis e poluentes gasosos, em Toronto, estavam associados com internações hospitalares de crianças e adolescentes.

Neste trabalho foram observadas características peculiares que divergem de outras publicações no que se refere à estrutura de defasagem do PM_{10}. Para a faixa etária até 5 anos, encontramos aqui, um efeito mais tardio com defasagem mais longa principalmente para o PM_{10} médio e o registrado na VP (com efeito no 4º dia após exposição ao poluente). Esta peculiaridade do estudo em Cubatão pode ser conseqüência de alguns fatores associados. A possível dificuldade de acesso ao sistema de saúde induz os responsáveis pela criança à introdução de cuidados paliativos, postergando a procura pelo atendimento médico. Além disso, o efeito do PM_{10} pode ocorrer, prioritariamente, sobre as doenças infecciosas do trato respiratório [Ciencewicki et al., 2006], doenças cuja manifestação pode se dar em um período mais tardio quando comparadas às exacerbações dos quadros puramente inflamatórios. [Chauhan e Johnston, 2003]

Já para a faixa etária com mais de 64 anos, o PM_{10} foi o único poluente que não apresentou efeito estatisticamente significativo na presente análise. O SO_2 e o NO_2 apresentaram efeitos agudos, no dia da exposição e na média móvel de dois dias, respectivamente. Já com O_3, os efeitos foram mais prolongados, sendo observados até quatro dias após o aumento do poluente, mostrando um efeito acumulado em 7 dias de 10,4% (IC95%:3,3-17,9%) de aumento nas internações.

Este resultado do O_3 no presente estudo é compatível com os resultados encontrados na cidade de São Paulo entre 1996 e 2000. [Gouveia e Fletcher, 2000]. Entretanto, a magnitude do efeito esteve bem aquém do observado em Cubatão.

Schwartz [1996] mostrou associação ainda mais forte em estudo realizado em Spokane, estado de Washington, EUA, onde uma variação na concentração de O_3 semelhante à utilizada neste estudo produziu acréscimos de 24% nas internações de idosos por doenças respiratórias.

Estudos que analisam o efeito do O_3 são importantes por ser este o único poluente regulamentado que tem apresentado elevação de seus valores de referência ao longo dos últimos anos nos grandes centros urbanos e, em especial, na região metropolitana de São Paulo. Tendo em vista ser um poluente secundário, torna-se ainda mais difícil seu controle. [CETESB, 2007]

Diferentemente do presente estudo, Schwartz mostrou, também, um o efeito do PM_{10} entre os idosos. Feito semelhante ao de Atkinson et al. [2001], em estudo realizado em diferentes países europeus, e de Gouveia et al. [2003] na cidade de São Paulo. A ausência de resultados mostrando associação entre partículas inaláveis e internações respiratórias em Cubatão não parece ser decorrente de viés metodológico, mas, possivelmente, das características de exposição em uma região onde a distribuição da população é heterogênea, com diferentes aglomerados

habitacionais. Além disso, as internações por doenças respiratórias em idosos podem estar relacionadas às exacerbações de doenças crônicas, altamente sensíveis às variações nos poluentes gasosos. [Halonen et al., 2008]

6 – Conclusão

Este estudo mostrou que durante o período avaliado, janeiro de 1997 a dezembro de 2004, os poluentes atmosféricos na cidade de Cubatão estiveram associados à morbidade respiratória, avaliada através dos números diários de internações hospitalares, de crianças, adolescentes e idosos.

Entre crianças de 0 a 10 anos foram observados efeitos para PM_{10} e O_3 com estrutura de defasagem de dois a quatro dias para as partículas enquanto que para o poluente gasoso esse efeito foi agudo.

Os adolescentes foram os menos afetados, com efeito agudo associado apenas com O_3.

Para os idosos, apenas os poluentes gasosos mostraram associação estatisticamente significativa com as internações, com efeitos agudos, sendo que para o O_3 seu efeito foi mais tardio e prolongado, sendo observados até quatro dias após o aumento do poluente.

Apesar dos esforços para reduzir os níveis de emissão de poluentes ao longo das últimas décadas na região da cidade de Cubatão, as concentrações dos poluentes observadas durante o período de estudo mostram que ainda são mensuráveis e significativos os efeitos a poluição atmosférica sobre a saúde respiratória de crianças, adolescentes e idosos. Portanto, sugerimos que os esforços sejam intensificados na busca da menor concentração possível a fim de minimizar os efeitos adversos da exposição aos poluentes do ar em uma área com grande concentração de indústria e crescente participação automotiva.

7 – Referências Bibliográficas

Alexis N, Barnes C, Bernestein IL, Bernestein JA, Nel A, Peden D, Diaz- Sanches D, Tarlo SM, Williams B. Health effects of air pollution. *J Allergy Clin Immunol*. 2004; 114(5): 1116-23.

Almeida, RS. *Caminhos de Geografia - revista on-line do Instituto de Geografia*. 2004; 4(11): 53-66.

Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM, et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. Air Pollution and Health: a European Approach*. Am J Respir Crit Care Med*. 2001; 164: 1860-66.

Arbex AM, Bohm GM, Saldiva PH, Conceição GM, Pope AC III, Braga AL. Assessment of the effects of sugar cane plantation burning on daily counts of inhalation therapy. *J Air Wast Manag Assoc*. 2000; 50(10): 1745-9.

Arbex AM, Martins LC, Pereira LAA, Negrini F, Cardoso A A, Melchert WR, Arbex RF, Saldiva PHN, Zanobetti A, Braga ALF. Indoor NO_2 pollution and lung function of profissional cooks. *Bras J Med and Biol Res*. 2007;40: 527-534.

Bakonyi SMC, Danni-Oliveira IM, Martins LC, Braga ALF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev. Saúde Pública*. 2004; 38 (5): 695-700.

Bohm GM, Saldiva PH, Pasqualucci CA, Massad E, Martins Mde E, Zin WA, Cardoso WV, Criado PM, Komatsuzaki M, Sakae RS. Biological effects of air pollution in São Paulo and Cubatão [abstract]. *Envir Res*. 1989; 49(2): 208-16.

Boubel RW. *Fundamentals of air pollution*. 3ªed. San Diego: Academic Press; 1994.

Braga ALF. *Avaliação do efeito da poluição do ar sobre a saúde da população pediátrica da cidade de São Paulo e proposta de monitorização*. [Tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 1998, 220p.

Braga ALF, Conceição GMS, Pereira LAA, Kishi HS, Pereira JCR, Andrade MF, Gonçalves FLT, Saldiva PHN, Latorre MRDO. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil [abstract]. *J Environ Med*. 1999; 1:95-102.

Braga, ALF, Saldiva PHN, Pereira LAA, Menezes JJC, Conceição GMS, Lin CA, Zanobetti A, Schwartz J, Dockery DW. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatric Pulmonology*. 2001a; 31(2):106-113.

Braga ALF, Zanobetti A, Schwartz J. The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in ten US cities. *J Occup Environ Med*. 2001b; 43: 927-33.

Braga ALF, Pereira LAA, Procópio M, André PA, Saldiva PHN. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Cad Saúde Pública*. 2007; 23 (4): 570-78.

Brook RD, Franklin B, Chair, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, Luepker R, Mittleman M, Samet J, Smith SC, Tager I. Air pollution and cardiovascular disease. *Circulation*. 2004;109: 2655-71.

Burnett RT, Smith-Doirom M, Stieb D, Raizenne ME, Brook JR, Dales RE, Leech J A, Cakmak S, Krewski D. Association between ozone and hospitalization for acute respiratoy diseases in children less than 2 years of age. *Am J of Epidemiol*. 2001;153(5): 444-52.

Cançado JED, Braga ALF, Pereira LAA, Arbex MA, Saldiva PHN, Santos UPS. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *J. Bras. Pneumol*. 2006a; 32(1); 5-11.

Cançado JED, Saldiva PHN, Pereira LAA, Lara LBLS, Artaxo P, Martinelli LA. The impact f sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. *Environ Health Perspect*. 2006b; 114(5): 725-29.

Carlisle AJ, Sharp NCC. Exercise and outdoor ambient air pollution. *Br. J. Sports Med*. 2001; 35(4): 214-222.

Cendon S, Pereira LAA, Braga ALF, Conceição GMS, Junior CA, Romaldini H, Lopes AC, Saldiva PHN. Air pollution effects on myocardial infarction. *Rev Saúde Pública.*2006; 40(3):414-9.

CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003. __ São Paulo: CETESB, 2003.

CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2006. __ São Paulo: CETESB, 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Glossário Ecológico Ambiental. São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/glossario/glossario_p.asp

Chauhan AJ, Johnston SL. Air pollution and infection in respiratory illness. *British Medical Bulletin.* 2003; 68: 95-112.

Ciencewicki J, Brighton L, Wu W, Madden M, Jaspers I. Diesel exhaust enhances virus- and poly (I:C)-induced Toll-like receptor 3 expression and signaling in respiratory epithelial cells*. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2006; 290:1154-63.

Ciocco A, Thompson DJ. A follow-up on Donora tem years after: methodology and findings. *Am J of Public Health*.1961; 51, 155-64.

Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. Health effects of outdoor pollution [abstract]. *Am J Respir Crit Care Med*. 1996;153(1): 3-50.

Correia JEM. *Poluição atmosférica urbana e fluxo expiratório de pico (peak flow) em crianças de 7 à 9 anos na cidade de São Paulo, SP*. [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Departamento de Epidemiologia; 2001, 215p.

Diaz-Sanches D, Proietti L, Polosa R. Diesel fumes and the rising prevalence of atopy: an urban legend? *Current Allergy Asthma Reports*. 2003; 3:146-52.

Dockery, DW, Cunningham J, Damokosh AI, Neas LM, Spengler JD, Koutrakis P, Ware JH, Raizenne M, Speizer FE. Health Effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms. *Environ Health Perspectives*. 1996; 104(5): 500-05.

Dockery DW. Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. *Environ Health Perspect*. 2001;109(4): 483-6.

Dominici F, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *Am J Epidemiol*. 2002;156(3):193-203.

Dominici F, Peng RD, Bell, ML, Pham, L, McDermott A, Zeger, SL, Samet, JM. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA*. 2006; 295(10):1127-33.

Farhat SCL, Paulo RLP, Shimoda TM, Conceição GMS, Lin CA, Braga ALF, Warth MPN, Saldiva PHN. Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions. *Braz J Med Biol Res*. 2005;38:227-35.

Faria M, Almeida JW, Zanetta DM. Mortalidade por câncer na região urbano-industrial da Baixada Santista, SP (Brasil). *Rev. Saúde Pública*. 1999; 33(3): 255-61.

Firket J. Sur lês causes dês accidents survenus dans la vallée de la Muese, lors des brouilards de decémbre 1930. *Bull. Acad. Roy. Med. Belg*. 1931; 11: 683-741.

Freitas C, Bremner AS, Gouveia N, Pereira LAA, Saldiva PHN. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993-1997. *Rev. Saúde Pública*. 2004; 38(6): 751-7.

Gouveia N, Fletcher T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occup. Environ. Med. Londres*. 2000; 57 (7), 477-83.

Gouveia N, Mendonça GAS, Leon AP, Correia JEM, Junger WL, Freitas CU, Daumas RP, Martins LC, Giussepe L, Conceição GMS, Manerich A, Cunha-Cruz J. Poluição do ar e feitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiol Serv Saúde*. 2003; 12(1): 29-40.

Gouveia N, Freitas C, Martins LC, Marcílio IO. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no município de São Paulo, Brasil. *Cad. Saúde Pública*. 2006; 22(12): 2669-77.

Green PJ, Silverman BW. *Nonparametric regression and generalized linear models: A roughness penalty approach*. London, IL: Chapman & Hall; 1994.

Halonen JI, Lanki T, Yli-Tuomi, Kulmala M, Tiittanen P, Pekkanen J. Urban air pollution and asthma and COPD hospital emergency room visits [abstract]. *Thorax.* In press 2008.

Hofmeister VA. *Efeitos da poluição do ar sobre a função pulmonar: um estudo de coorte em crianças de Cubatão*. [Tese]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Departamento de Saúde Pública; 1991.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados da Amostra do Censo Demográfico 2000; situação em 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

Kaiser J. Mounting evidence indicts fine-particle pollution. *Science*. 2005; 307(5717): 1858-61.

Latorre MRD, Cardoso MRA. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. *Rev. Bras. Epidemiol.* 2001;4(3); 145-52.

Laurenti R, Mello Jorge MHP, Gotlieb SLD. Características da mortalidade infantil e da natimortalidade da Baixada Santista. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Epidemiologia. Projeto Cubatão: Anomalias Congênitas e Poluição Ambiente: Sub-Projeto 3. São Paulo, s.n; 1982. 28p.

Lin CA, Martins MA, Farhat SCL, Pope III CA, Conceição GMS, Anastácio VM, Hatanaka M, Andrad WC, Hamaure WR, Bohm GM, Saldiva PH. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. *Pediatric and Perinatal Epidemiology*. 1999; 13: 475-88.

Lin CA, Pereira LAA, Braga ALF, Conceição GMS, Kishi HS, Milani R, et al. Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. *Environ Res*. 2003; 92: 53-63.

Lin M, Stieb DM, Chen Y. Coarse particulate matter and hospitalization for respiratory infections in children younger than 15 years in Toronto: a case-crossover analysis. *Pediatrics*. 2005; 116 (2):235-40.

Logan WPD. Mortality in London fog incidente. *Lancet.* 1953; 1(7): 336-8.

Martins LC, Latorre MRDO, Saldiva PHN, Braga ALF. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. *Revista Brasileira de Epidemiologia*. 2001; 4(3), 220-29.

Martins LC, Latorre MRDO, Cardoso MRA, Gonçalves FLT, Saldiva PHN, Braga ALF. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Rev. Saúde Pública*. 2002a; 36(1): 88-94.

Martins LC, Latorre MRDO, Saldiva PHN, Braga ALF. Air pollution and emergency room visits due to chronic lower respiratory diseases in the elderly: an ecological time-series study in São Paulo, Brazil. *J Occup Environ Med*. 2002b; 44(7): 622-27.

Martins MCH, Fatigati FL, Véspoli TC, Martins LC, Pereira LAA, Martins MA, et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health in elderly people: an analysis of six regions in São Paulo, Brazil. *J. Epidemiol Community Health*. 2004; 48; 41-46.

Martins LC, Pereira LAA, Lin CA, Santos UP, Prioli G, Luiz OC, et al. The effects of air pollution on cardiovascular diseases: lag structures. *Rev. Saúde Pública*. 2006; 40 (4): 677-83.

Massoni KM. *Avaliação dos efeitos da poluição atmosférica sobre as internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes no município*

de São Paulo e, em especial, no extremo sul da cidade [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de Santo Amaro. Programa de Pós-graduação em Saúde Materno-Infantil; 2006. 96p.

McConnell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Islam T, Gauderman WJ, Avol E, Margolis EG, Peters JM. Asthma in exercising children exposed to ozone: a cohort study*. Lancet*. 2002; 359 (9304): 386-91.

McCullagh P, Nelder JA. *Generalized linear models*. 2ª ed. London, IL: Chapman & Hall; 1989.

Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. IDB-2000: Indicadores e Dados do Brasil; 2001. DATASUS. Brasília, 2001. Disponível em: http://www.datasus.gov.br/idb/2001. Acesso em: 18 de julho de 2007.

McDonnell WF, Abbey DE, Nishino N, Lebowitz MD. Long-term ambient ozone concentration and the incidence of asthma in nonsmoking adults: the ahsmog study. *Environ Res*. 1999; 80(2):110-21.

Medronho RA, Carvalho DM, Block KV, Luiz RR, Werneck GL. *Epidemiologia.* São Paulo: Atheneu; 2006.

Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. IDB-2000: Indicadores e Dados do Brasil; 2001. DATASUS. Brasília, 2001. Disponível em: http://www.datasus.gov.br/idb/2001. Acesso em: 18 de julho de 2007.

Morgenstein H. Ecologic studies. In: Rothman KJ, Greenland S, eds. *Modern Epidemiology*. 2ª ed. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1998. p.459-80.

Nemar A, Hoet PH, Vanquickenborne BD, Thomeer M, Hoylaerts MF, Vanbilloen H, Mortelmans L, Nemery B. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation*. 2002; 105:411-14.

Oliveira RS, Neto TLB, Braga ALF, Raso V, Pereira L.AA, Morette SR, Carneiro RC. Impact of acute exposure to air pollution on the cardiorespiratory performance of military firemen. *Braz J of Med and Biol Res*. 2006; 39(12):1643-49.

Pereira, FAC. *Efeito da poluição do ar na carcinogênese de camundongos* [Tese]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo; 2005.107p.

Pope CA III. Review: Epidemiological basis for particulate air pollution health standards. *Aerosol Science and Technology*. 2000; 32(4): 4-14.

Pope CA III, Burnett RT, 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):1132-41.

Pope CA III, Burnett RT, Thruston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Godleski JJ. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*. 2004; 109(1):71-77.

Portal de Cubatão. *História de Cubatão.* Disponível em: http://www.portaldecubatao.com.br/historia.htm. Acesso em: 17 de julho de 2007.

Rocha LE, Freitas CU, Ferreira JMN, Faria CG, Kumagai MFU. Dados comparativos de morbidade hospitalar do município de Cubatão e do Estado de São Paulo (Brasil). *Rev. Saúde Pública.* 1988; 22(2): 118-31.

Saldiva PH, Lichtenfels AJ, Paiva PS, Barone IA, Martins MA, Massad E, Pereira J C, Xavier VP, Singer JM, Bohm GM. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environ Res*. 1994; 65(2): 218-25.

Saldiva PH, Pope CA III, Schwartz J, Dockery DW, Lichtenfels AJ, Salge JM, Barone I, Bohm GM. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil [abstract]. *Arch of Environ Health*. 1995; 50(2): 159-163.

Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis [abstract]. *Environ Res.* 1994; 64(1):36-52.

Schwartz, J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease [abstract]. *Epidemiology*. 1996; 7: 20-8.

Schwartz, J. The distributed lag between air pollution and daily deaths. *Epidemiology*. 2000; 11:320-26.

Schwartz J. Air pollution and children´s health. *Pediatrics*. 2004;113(4): 1037-43.

Silva LJ. Considerações acerca dos fundamentos teóricos da explicação em epidemiologia. *Rev. Saúde Pública*. 1985; 19:377-83.

Spektor DM, Hofmeister VA, Artaxo P, Brague JA, Echelar F, Nogueira DP, et al. Effects of heavy industrial pollution on respiratory function in the children of Cubatão, Brazil: a preliminary report. *Environ Health Perspect*. 1991; 94:51-4.

US EPA - United States Environmental Protection Agency. *History of the Clean Air Act.* Disponível em: http//www.epa.gov/air/caa/caa_history.html. Acessado em: 30 janeiro de 2008.

Veras, CMT, Martins MS. A confiabilidade dos dados nos formulários de Autorização de Internação Hospitalar (AIH), Rio de Janeiro, Brasil. *Cad. Saúde Pública.* 1994; 10(3): 339-355.

Zago A, Pereira LA, Braga AL, Bousquat A. Mortalidade por câncer de mama em mulheres na Baixada Santista, 1980 a 1990. *Rev Saúde Pública*. 2005; 39(4):641-5.

Zanobetti A, Schwartz J, Dockery DW. Airborne particles are a risk factor for hospital admissions for heart and lung disease. *Environmental Health Perspectives*. 2000; 108(11):1071-77.