UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELOS DE DECISÃO E SAÚDE

MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES E FATORES METEOROLÓGICOS EM AFECÇÕES RESPIRATÓRIAS

Luciana Alves da Nóbrega

João Pessoa
2013

LUCIANA ALVES DA NÓBREGA

MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES E FATORES METEOROLÓGICOS EM AFECÇÕES RESPIRATÓRIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde – Nível Mestrado do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, como requisito regular para a obtenção do título de Mestre.

Linha de Pesquisa**: Modelos em Saúde**

Orientadores:

Prof. Dr. César Cavalcanti da Silva
Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento

João Pessoa/PB
2013

N754m Nóbrega, Luciana Alves da.
Modelagem da influência de poluentes atmosféricos veiculares e fatores meteorológicos em afecções respiratórias / Luciana Alves da Nóbrega.- João Pessoa, 2013.
119f. : il.
Orientadores: César Cavalcanti da Silva, João Agnaldo do Nascimento
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN
1. Poluição atmosférica - centros urbanos. 2. Veículos automotores. 3. Qualidade do ar. 4. Doenças respiratórias. 5. Modelo de Regressão de Poisson.

UFPB/BC *CDU: 614.71(043)*

LUCIANA ALVES DA NÓBREGA

MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES E FATORES METEOROLÓGICOS EM AFECÇÕES RESPIRATÓRIAS

Data da defesa: João Pessoa, 08 de março de 2013

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. César Cavalcanti da Silva
Orientador - UFPB

_____

Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento
Orientador - UFPB

_____

Prof. Dr. Eufrásio de Andrade Lima Neto
Membro Interno - UFPB

_____

Prof. Dr. Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna
Membro Interno - UFPB

_____

Prof. Dr. Rennio Felix de Sena
Membro Externo - UFPB

A Raimundo, meu pai (*in memoriam*), a Doralice, minha mãe e a Arthur, meu noivo, pessoas que amo e que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela força nos momentos de aflição.

A minha mãe Doralice que sempre me apoiou e esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Ao meu noivo Arthur pelo incentivo e apoio em horas tão difíceis, pelo companheirismo, amizade e paciência.

Aos meus orientadores Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento e Prof. Dr. César Cavalcanti da Silva, por terem compartilhado comigo seus conhecimentos, pela amizade e confiança, pelos momentos de conversas agradáveis.

A todos os colegas do mestrado, pela ajuda e companheirismo, em especial a Priscila pela colaboração e amizade.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Modelo de Decisão e Saúde da Universidade Federal da Paraíba pelo apoio necessário para elaboração deste estudo.

Aos demais professores do Programa, pelos ensinamentos, em especial aos membros da banca pelas importantes sugestões que permitiram o aprimoramento deste trabalho.

À Empresa Cetrel, em especial a Eduardo pela contribuição de informações imprescindível para a construção dessa pesquisa.

À CAPES pelo financiamento do mestrado.

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

“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 esses problemas, visto sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação.”

Jacques Yves Cousteau (1910-1997)

RESUMO

A poluição atmosférica urbana, até meados de 1980, era atribuída basicamente às emissões industriais, no entanto, o rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que os veículos se tornassem um problema de grande magnitude. Hoje se verifica uma situação em que os maiores responsáveis por grande parte da degradação da qualidade do ar nos grandes centros urbanos são os veículos automotores em circulação nas rodovias, devido à grande quantidade e péssimo estado de conservação. Em algumas cidades, os índices de concentrações de poluentes do ar passaram a atingir níveis que colocam em risco a saúde das pessoas obrigando as autoridades a tomar decisões para controlar este problema. O presente trabalho teve como objetivo verificar a relação entre fatores meteorológicos e poluentes atmosféricos veiculares com o número de casos de doenças respiratórias notificadas pela secretaria da saúde de Salvador-BA, mediante a utilização do Modelo de Regressão de Poisson. Essa investigação foi realizada utilizando-se um desenho ecológico a partir de informações secundárias de internações hospitalares coletados junto ao DATASUS e de dados acerca do monitoramento dos principais poluentes atmosféricos e dos parâmetros meteorológicos, no período de novembro de 2010 a setembro de 2012, adquiridos junto ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. Foram observadas nesse estudo as populações mais suscetíveis que são crianças ($\leq$ 9 anos) e idosos ($\geq$ 65 anos). De acordo com os resultados obtidos, observou-se que as variáveis "SO_2", "NO_2", "CO" e " Temperatura" são estatisticamente significantes para justificar a variabilidade da variável resposta "internações por doenças respiratórias" em crianças, ao nível exploratório de 5%. Com relação aos idosos, apenas as variáveis "NO_2" e "O_3" foram estatisticamente significantes ao nível de 5% de significância. Através dos gráficos de resíduos e de medidas de diagnóstico referentes ao modelo de Poisson ajustados aos dados sobre internações por doenças do aparelho respiratórios em crianças e idosos, foi possível verificar a boa adequação do modelo utilizado para a tomada de decisão.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica; Doenças Respiratórias; Regressão de Poisson.

ABSTRACT

Until late 1980s, urban air pollution was attributed to industrial emissions. However, the fast urban growth in the developing nations caused the vehicles to become an issue of large magnitude. Nowadays, there is a situation in which the most responsible for the a relevant part of the air quality degradation in the bigger urban centers are the motor vehicles that are currently circulating on the roads, due to their great amount and poor state of repair. In some cities, the air pollutant concentration indexes have reached levels that threaten people's health, forcing the authorities to make decisions to control such problem. This current work aimed to verify the relationship among meteorological factors, vehicular air pollutants and the number of respiratory system disease cases notified by the department of health of Salvador-BA', by using the Poisson Regression Model. This investigation was conducted by using an ecological drawing made from secondary information about hospitalizations, collected from DATASUS and from data related to the monitoring of major air pollutants and to the meteorological parameters, from November 2010 to September 2012, acquired from the Environment and Water Resources Institute - INEMA. In this work, the most susceptible groups of people, that is, children ($\leq$ 9 years old) and the elderly ($\geq$ 65 years-old), were monitored. Acording to the achieved results, it was observed that the independent variables "SO_2", "NO_2", "CO" and "Temperature" were statistically relevant to justify the variability of the responds variable "Hospitalizations by respiratory system diseases" in children, to the exploratory level of 5%. Regarding to elderly, only the variables "NO_2" and "O_3" were statistically relevant to the significance level of 5%. Through the residual graphics and the diagnostic measures related to the Poisson model adjusted to the data about hospitalizations caused by respiratory system diseases in children and the elderly, it was possible to verify the proper suitability of the model used for the decision-making.

Keywords: Air Pollution, Respiratory Diseases; Poisson regression.

LISTA DE SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CID	Código Internacional de Doenças
CO	Monóxido de Carbono
CO_2	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DATASUS	Departamento de Informações do Sistema Único de Saúde
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
EMV	Estimadores de Máxima Verossimilhança
FIFA	Federation Internationale de Football Association
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
HC	Hidrocarboneto
H_2S	Gás sulfúrico
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
H_2SO_3	Ácido Sulfuroso
IC	Intervalo de Confiança
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INEA	Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MLG	Modelos Lineares Generalizados
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Material Particulado
NO_2	Dióxido de Nitrogênio
NOx	Óxidos de Nitrogênio

O_3	Ozônio
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCPV	Plano de Controle de Poluição Veicular
PNUD/ONU	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROCONVE	Programa de Controle de Veículos Automotores
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PTS	Partículas Totais em Suspensão
RMS	Rede de Monitoramento de Salvador
RR	Risco Relativo
SO_2	Dióxido de Enxofre
SO_3	Trióxido de Enxofre

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Fontes de poluição e poluentes atmosféricos..... 24

Figura 02 - Mapa do estado da Bahia com destaque para a localização dos principais municípios..... 58

Figura 03 - Mapa da cidade de Salvador, com a localização das cinco estações de monitoramento automática. Estações automáticas: Pirajá, Paralela-CAB, Dique do Tororó, Campo Grande e Rio Vermelho..... 62

Figura 04 - Gráficos dos resíduos referentes ao modelo de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças do aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos) e idosos (≥ 65 anos)..... 88

Figura 05 - Gráficos das medidas de diagnóstico referentes ao modelo de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças do aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos) e idosos (≥ 65 anos)..... 89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - População residente/sexo..... 59

Gráfico 02 - Crescimento da frota de veículos em Salvador 2001-2012..... 60

Gráfico 03 - Variação mensal do número de internações por doenças no aparelho respiratório em crianças (≤ 9anos) no município de Salvador, de novembro de 2010 a setembro de 2012..... 69

Gráfico 04 - Variação mensal do número de internações por doenças no aparelho respiratório em idosos (≥ 65 anos) no município de Salvador, de novembro de 2010 a setembro de 2012..... 70

Gráfico 05 - Variação da concentração média em 24 horas do material particulado MP10 (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012..... 72

Gráfico 06 - Variação da concentração média em 24 horas do dióxido de enxofre SO2 (µg/m³) no município de Salvador entre novembro de 2010 a setembro de 2012..... 73

Gráfico 07 - Variação da concentração média em 24 horas do dióxido de nitrogênio NO2 (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012..... 74

Gráfico 08 - Variação da concentração média em 24 horas do monóxido de carbono CO (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012..... 75

Gráfico 09 - Variação da concentração média em 24 horas do ozônio O3 (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012..... 76

Gráfico 10 - Temperatura média diária (ºC) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012..... 78

Gráfico 11 - Umidade média diária do ar (%) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012..... 78

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 -	Principais poluentes resultante da combustão em veículos automotores	26
Quadro 02 -	Classificação das áreas de acordo com os usos pretendidos	38
Quadro 03 -	Índice de Qualidade do Ar.....	46
Quadro 04 -	Mostra os principais efeitos à saúde em relação a cada poluente atmosférico proveniente dos veículos.....	47
Quadro 05 -	Estações de monitoramento e os parâmetros monitorados.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Limites máximos de emissões de poluentes para veículos leves de passageiros..... 36

Tabela 02 - Limites do PROCONVE para veículos diesel (g/kW.h)..... 37

Tabela 03 - Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº03 de 28/06/90)..... 40

Tabela 04 - Critérios para caracterização de episódios agudos de poluição do ar..... 41

Tabela 05 - Ligações Canônicas para os MLG..... 50

Tabela 06 - Distribuição percentual de internações por doenças do aparelho respiratório em crianças e idosos da rede pública de saúde, em Salvador, Brasil, 2010-2012..... 68

Tabela 07 - Estatística descritiva para as internações por doenças do aparelho respiratório em Salvador, Brasil, 2010-2012..... 68

Tabela 08 - Estatística descritiva para os níveis de poluição em Salvador, Brasil, 2010-2012..... 71

Tabela 09 - Estatística descritiva para as variáveis meteorológicas em Salvador, Brasil, 2010-2012..... 77

Tabela 10 - Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças respiratórias em crianças ($\leq$ 9 anos)..... 80

Tabela 11 - Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças respiratórias em idosos ($\geq$ 65anos)..... 85

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	17
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	**Geral**	20
1.2.2	**Específicos**	20
2	**REFERENCIAL TEÓRICO**	21
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	21
2.1.1	**Considerações Iniciais**	21
2.1.2	**Origem dos Poluentes**	23
2.1.3	**Principais Poluentes associados à emissão veicular**	25
2.1.4	**Principais afecções causadas por poluentes atmosféricos de origem veicular**	29
2.2	ASPECTOS LEGAIS SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	34
2.3	MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	42
2.3.1	**Rede de monitoramento da qualidade do ar**	42
2.3.2	**Fatores que influenciam a poluição do ar**	44
2.3.3	**Padrões de Qualidade do Ar – PQAr**	45
2.4	MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO	48
2.4.1	**Componente aleatória**	49
2.4.2	**Componente sistemático**	49
2.4.3	**Função de ligação**	50
2.4.4	**Modelo de regressão Poisson**	51
3	**MATERIAIS E MÉTODOS**	57
3.1	TIPO DE ESTUDO	57
3.2	CENÁRIO DA PESQUISA	57
3.3	PROCEDIMENTO DE COLETA DOS DADOS	60
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	65
4	**RESULTADOS E DISCUSSÕES**	67
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	67
4.1.1	**Internações por doença no aparelho respiratório**	67
4.1.2	**Poluentes Atmosféricos**	70

4.1.3 **Parâmetros Meteorológicos**..... 77
4.2 ANÁLISE DO AJUSTE DO MODELO..... 79
4.2.1 **Internações por doenças no aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos)**..... 80
4.2.2 **Internações por doenças no aparelho respiratório em idosos (≥ 65 anos)** 84
4.3 ANÁLISE DA ADEQUABILIDADE DO MODELO..... 87
5 **CONCLUSÃO E SUGESTÕES**..... 91
5.1 CONCLUSÃO..... 91
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... 93
REFERÊNCIAS..... 94
APÊNDICE A - Solicitação de Dados para a Pesquisa a Secretaria Municipal de Saúde de Salvador..... 104
APÊNDICE B - Solicitação de Dados para a Pesquisa ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA..... 106
APÊNDICE C - Fotografia da visita técnica à estação de monitoramento da qualidade do ar da Av. Paralela, Salvador-BA..... 108
APÊNDICE D - Script dos gráficos de séries temporais e do ajuste do modelo de regressão de Poisson, com a utilização do software R version 2.15.0..... 109
ANEXO A - Autorização da Empresa Responsável pelo Monitoramento da Qualidade do Ar de Salvador – Cetrel e do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA para utilização dos dados de monitoramento da qualidade do Ar de Salvador nessa Pesquisa..... 114
ANEXO B - Resolução CONAMA nº 03/1990 que dispõe sobre padrões de qualidade do ar previsto no pronar..... 115

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A partir da Revolução Industrial a exploração dos recursos naturais pelo homem se intensificou e como consequência, o desequilíbrio ambiental passou a ser agravado pela poluição causando doenças, prejuízos à fauna e flora, entre outros. Essa crise ecológica associada a problemas sociais, culturais, ambientais, constituem uma crise cultural gerada ao longo dos séculos pela modernidade (REIGADA; REIS, 2004).

As substâncias poluentes são aquelas que causam, efetivamente, ou que tem o potencial de causar, por ação direta ou indireta, alteração e/ou danos à saúde humana e ao ambiente. Os poluentes abrangem, entre outros, os eventos que, afetem – de forma imediata, mediata ou em longo prazo – a qualidade dos diferentes ecossistemas, presentes nos compartimentos ambientais ar, água e solo; prejudiquem ou potencialmente possam prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar de populações; afetem as condições sanitárias e/ou estéticas do meio ambiente; liberem matérias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos por lei ou regulamentações; alterem as propriedades físicas, químicas ou biológicas dos diferentes corpos d'água como rios, lagoas, águas subterrâneas e mares, bem como eventuais reservatórios destinados ao consumo da população; prejudiquem, direta ou indiretamente, a biodiversidade aquática; criem condições nocivas, ofensivas ou inadequadas para fins domésticos, agropecuários, industriais, e a outros segmentos de atividades socioeconômicas (MMA, 2010).

O rápido avanço tecnológico do mundo moderno trouxe consigo um aumento na quantidade e na variedade de poluentes químicos eliminados no meio ambiente prejudicando de maneira muito séria a qualidade de vida em nosso planeta. Todos os anos, milhares de adultos e crianças são levados aos hospitais em virtude de várias doenças respiratórias como bronquite, rinite, asma e outras doenças alérgicas, todas estas ocasionadas pelos índices de poluição do ar que representam hoje um dos maiores problemas de Saúde Pública.

A poluição está diretamente relacionada com os processos de industrialização, urbanização não planejada do meio em que vivemos e má utilização dos recursos naturais que estão disponíveis para manutenção das premissas básicas de sobrevivência da humanidade. Esses são os principais fatores contemporâneos que podem explicar claramente os atuais índices de poluição atingidos.

No Brasil, este tema e seus desdobramentos estão afetos ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Este órgão deliberativo está diretamente vinculado ao Ministério do Meio Ambiente e a ele cabe consulta sobre toda a política nacional para esse setor. O CONAMA foi criado em 1982 sob a égide da Lei 6.938/81 e se reúne trimestralmente no Distrito Federal mediante convocação da Presidência da República ou por requerimento de 2/3 de seus membros.

Com objetivo de rever, atualizar e sistematizar a legislação referente à inspeção veicular ambiental, o CONAMA expediu a Resolução 418/2009 de 25 de dezembro, instando os órgãos responsáveis por este setor nos estados e municípios a constituírem seus Planos de Controle de Poluição Veicular (PCPV).

O PCPV é um instrumento do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) e do Programa de Controle de Veículos Automotores (PROCONVE), que tem como objetivos o estabelecimento de diretrizes básicas que visam o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, promovendo o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes, gerando melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando à redução de emissões poluidoras na atmosfera.

Para operacionalização do presente projeto de pesquisa, utilizar-se-ão os parâmetros empregados como indicadores da qualidade do ar previsto no PCPV da Bahia, relativos ao monitoramento da qualidade do ar e os fatores meteorológicos, no município de Salvador, nos quais serão aplicados métodos estatísticos específicos de modo a prever o impacto dos poluentes na saúde pública municipal. A importância desse estudo encontra-se no fato de que, a intervenção humana danosa e desordenada aumentará o desequilíbrio ambiental comprometendo a sustentabilidade do meio em que vivemos.

Até pouco tempo atrás os principais vetores de modificação do meio ambiente eram os próprios agentes naturais tais como as chuvas, a erosão, os ventos, abalos sísmicos etc. Mas, a ação humana cada vez mais intensa sobre o ambiente tem desequilibrado diferentes biomas existentes em nosso planeta que estão sofrendo modificações significativas e preocupantes.

Partimos do pressuposto que, o mesmo homem capaz de introduzir modificações globais de natureza danosa para a saúde pública, possui, igualmente, a capacidade para reverter este processo através de tecnologias adequadas e políticas públicas voltadas para a

redução de transferências e emissão de poluentes no meio ambiente, desde que haja meios, informações e ferramentas que o auxiliem nesta tarefa.

O Problema é a ausência de informações modeladas sobre a relação entre fatores meteorológicos e os poluentes veiculares com o número de casos de doenças respiratórias. A modelagem dos dados possibilitará uma intervenção mais efetiva sobre as resultantes danosas desse processo de poluição do ar sobre a saúde humana.

Utilizar-se-á a técnica estatística da Análise de Regressão de Poisson que pode ser usada para investigar e modelar o relacionamento existente entre variáveis de um processo e compor uma equação para expressar o relacionamento entre estas variáveis.

Diante do exposto e considerando a urgência de promoção de intervenções no meio ambiente de modo a compatibilizar os processos de desenvolvimento econômico e social sem comprometimento da saúde humana, tomamos como objeto deste estudo a ocorrência de afecções respiratórias na população mais susceptível a influencia de poluentes atmosféricos de origem veicular previsto no Plano de Controle de Poluição Veicular e fatores meteorológicos.

As variáveis disponibilizadas no Plano de Controle de Poluição Veicular, os fatores meteorológicos e o número de internações por doenças do aparelho respiratório serão tratados estatisticamente, de forma pioneira, através do modelo de Regressão de Poisson e seus resultados possibilitarão avaliar o grau de influência da emissão de poluentes atmosféricos em relação à saúde humana, bem como, o estabelecimento de Tomada de Decisão acerca das ações governamentais para controle e tratamento desses poluentes, seus emissores e as afecções por ela causadas.

Por possuir a quarta maior frota de veículos do Brasil e ser evidente a importância do controle de emissões de poluentes atmosféricos, Salvador busca a implementação da campanha “Copa Verde, Ar Limpo” como proposta de apoiar o Brasil no cumprimento das metas estabelecidas pela FIFA para a Copa do Mundo de 2014, visando estabelecer medidas para a redução da poluição do ar que tem causado diversos prejuízos à saúde da população e danos ao meu ambiente. Por esses motivos, pode-se dizer que Salvador, na região Nordeste, ocupa a vanguarda no que diz respeito ao interesse de minimização do impacto que a poluição do ar trás nos mais variados aspectos.

Contraditoriamente vale resaltar que, nem mesmo em Salvador foram desenvolvidos estudos com dados obtidos pelo sistema de monitoramento realizado no município, portanto, **justifica-se** a realização dessa pesquisa pela necessidade de obtenção de informações modeladas que viabilizem tomadas de decisões. A utilização dos resultados obtidos com

esse estudo servirá de base informativa para a fundamentação de políticas públicas voltadas para prevenção e planejamento de ações, tanto na área da saúde quanto na área do controle ambiental, no sentindo de minimizar os níveis de concentrações dos poluentes de origem veicular e dos problemas de saúde daí derivados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Verificar a relação entre fatores meteorológicos e poluentes atmosféricos veiculares em relação ao número de casos de doenças respiratórias notificadas pela secretaria da saúde de Salvador-BA, mediante a utilização do Modelo de Regressão de Poisson.

1.2.2 Específicos

a. Examinar, no período de novembro de 2010 a agosto de 2012, que poluentes atmosféricos de origem veicular e fatores meteorológicos estiveram diretamente relacionados aos agravos respiratórios da população em estudo;
b. Verificar, no período de estudo, que poluentes veiculares oferecem riscos à saúde da população mesmo estando dentro dos níveis considerados seguros pelas agências de controle ambiental;
c. Modelar os dados fornecidos pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA e Secretaria Municipal de Saúde da cidade de Salvador através de Regressão de Poisson;
d. Verificar se o modelo de regressão de Poisson é considerado um potente modelo para a tomada de decisão no contexto da poluição veicular.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

2.1.1 Considerações Iniciais

Com o advento da industrialização, ocorrido na Inglaterra no século XVIII, novos processos produtivos foram descobertos, gerando maiores quantidades e melhor qualidade dos produtos, sempre objetivando lucros. Dadas as grandes extensões territoriais inexploradas dessa época, as consequências danosas da ação humana sobre o meio ambiente nem sempre foram claramente percebidas pelos produtores (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008).

Devido ao crescimento das populações e das suas necessidades de consumo, as indústrias cresceram consideravelmente em número, áreas de atuação e, sobretudo, produção de uma enorme variedade de produtos. Entretanto, a preocupação com o meio ambiente não acompanhou esse ritmo de crescimento e os problemas ambientais passaram a ser gerados em grandes dimensões (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008).

O Brasil também experimentou essa realidade e dois fenômenos merecem destaque: a rápida industrialização e o aumento da população concentrada em áreas urbanas. Entre as décadas de 1950 e 1990, a parcela da população brasileira que vivia em cidades aumentou de 36% para 75%. Como centros de produção, essas cidades mostraram saturação de indústrias em áreas restritas, não obstante os evidentes desequilíbrios ambientais decorrentes desse processo, trazendo diversos problemas a seus habitantes, provocados pelo aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos (LEAL; FARIAS; ARAUJO, 2008).

Até meados de 1980, a poluição atmosférica urbana era atribuída basicamente às emissões industriais, classificadas como fontes estacionárias, no entanto, com o rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que as fontes móveis, ou veículos, se tornassem um problema de grande magnitude. Hoje se verifica uma situação em que um dos maiores geradores de poluição atmosférica nos grandes centros urbanos são as fontes móveis em circulação nas rodovias, devido ao número e seu estado de conservação, muitas vezes sem o controle necessário quanto à qualidade do combustível, dos motores e mecanismos de filtragem dos gases emitidos (BRAGA; PEREIRA; SALDIVA, 2002).

Os combustíveis fósseis utilizados pelo homem para os mais diversos fins energéticos, como geração de energia elétrica, transporte e indústrias, tem sido uma das principais causadoras de danos ao meio ambiente (MENDES, 2004).

Nos meios de transporte, os derivados do petróleo como a gasolina e óleo diesel continuam sendo os combustíveis predominantes. A queima de combustíveis fósseis gera impactos ambientais de alcance global como o aumento da concentração de gases do efeito estufa, regionais como as chuvas ácidas e locais como o aumento da concentração na atmosfera de poluentes de efeitos tóxico que vem prejudicando de maneira muito séria a saúde da população (WILLS, 2008).

A poluição atmosférica urbana é considerada um dos problemas ambientais mais significativos tanto em países em desenvolvimento como nos desenvolvidos. Os meios de transportes como automóveis, ônibus e caminhões são responsáveis por grande parte da degradação da qualidade do ar nos grandes centros urbanos. A expansão das frotas circulantes associadas às características tecnológicas dos veículos mais antigos e dos combustíveis utilizados acabou por acarretar um aumento preocupante dos níveis de emissões de poluentes no ar (MENDES, 2004). Essa agressão ao meio ambiente precisa ser trabalhada, pois, não fica limitada às localidades e aos corredores por onde se deslocam as frotas veiculares. Ao contrário, se estende às regiões vizinhas, em função das circunstâncias e condicionamentos meteorológicos, que em última instância provocam danos regionais e globais (PINTO, 2005).

No Brasil registrou-se um acelerado aumento das emissões de poluentes atmosféricos em áreas urbanas nas últimas décadas. Em algumas cidades, os níveis de concentrações de poluentes do ar passaram a atingir níveis que colocavam em risco a saúde das pessoas, obrigando as autoridades a tomar decisões para controlar este problema (MENDES, 2004).

Diante dessa problemática, diversas pesquisas foram realizadas no inicio da década de 50 na Califórnia, EUA. Esses estudos apresentaram as primeiras evidências científicas de que os veículos automotores representavam uma significativa fonte de poluição do ar que provocava efeitos negativos sobre a saúde e o bem estar da população (MENDES, 2004).

Como resultado dessa constatação, em 1961 foi promulgada na Califórnia, EUA, a primeira legislação no mundo destinada especialmente a controlar a emissão de poluentes atmosféricos produzidos por veículos automotores. Em 1966, a Califórnia manteve o seu pioneirismo regulamentando os primeiros limites de emissões de gases de escapamento (MENDES, 2004).

A tendência de controle das emissões atmosféricas veiculares não ficou limitada aos EUA. O Japão estabeleceu a sua primeira legislação em 1966, os países da Comunidade Econômica Européia, Suécia e Canadá em 1971, Reino Unido e Austrália em 1972 e a Finlândia em 1975 (MENDES, 2004).

No Brasil, as primeiras discussões sobre o tema ocorreram na década de 1970, que levaram o Governo Brasileiro a implementar medidas de controle da qualidade do ar, orientado para as emissões de origem industrial (fontes fixas) e para os veículos automotores (fontes móveis).

2.1.2 Origem dos Poluentes

Os poluentes no ar são geralmente considerados como as substâncias adicionais ao ar por atividades humanas e que têm efeito adverso sobre o meio ambiente e a saúde humana. Esses poluentes existem na forma de gases, partículas pequenas de sólidos (particulados), ou pequenas gotículas de líquido dispersas em um gás (chamados de aerossóis) (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

Deve-se observar que a simples presença de poluentes no ar não configura uma situação problemática. Para que a poluição do ar se constitua num problema de saúde é necessário que haja poluentes numa concentração acima daquela prevista como mínimo aceitável, de acordo com os padrões da Organização Mundial de Saúde ou com outros padrões preestabelecidos (CAVALCANTI et al., 1979).

As fontes emissoras de poluentes são numerosas e variáveis, podendo ser antropogênicas ou naturais. As fontes antropogênicas são as que resultam das atividades humanas como as emissões por veículos automotores, indústrias, aviões, entre outras, enquanto que as fontes naturais englobam os fenômenos da natureza como as emissões da vegetação, oceanos, erupções vulcânicas, processos biológicos, etc.

Com relação as fontes antrópicas, podemos classifica-las em:

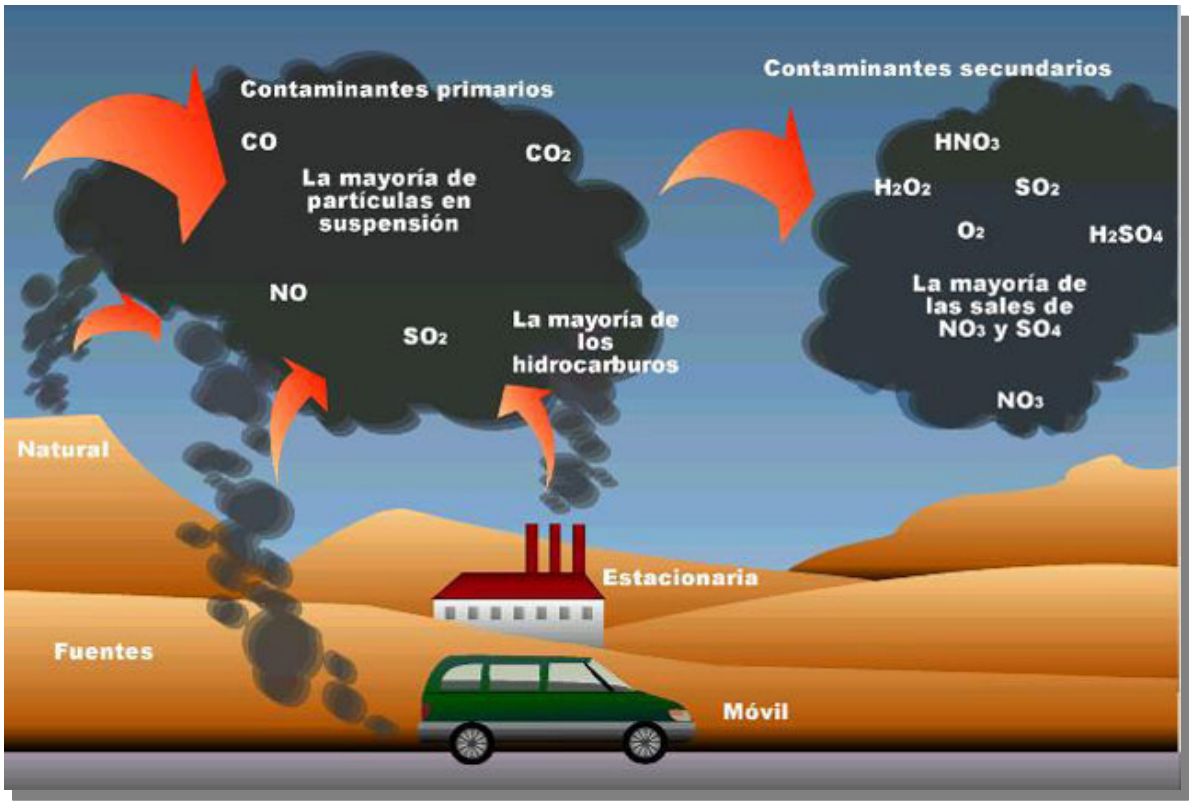
- Fontes Fixas: As indústrias são as fontes mais significativas, ou de maior potencial poluidor. Também se destacam as usinas termoelétricas, que utilizam carvão, óleo combustível ou gás, bem como os incineradores de resíduos, com elevado potencial poluidor;
- Fontes Móveis: Os veículos automotores, juntamente com os trens, aviões e embarcações marítimas são as chamadas fontes móveis de poluentes atmosféricos. Os veículos se destacam nas cidades como as principais fontes poluidoras.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados, de acordo com sua formação, em dois grupos:

- Poluentes primários: São aqueles emitidos diretamente das fontes emissoras e estão presentes na atmosfera na forma em que são emitidos. Pode-se citar os compostos de enxofre, óxidos de carbono, compostos de nitrogênio, compostos orgânicos, compostos halogenados e compostos radioativos;
- Poluentes secundários: São os produzidos na atmosfera, pelas reações entre dois ou mais poluentes, como os dióxidos de enxofre (SO_2) proveniente das indústrias e dos veículos, dá origem ao gás sulfúrico (H_2S), pela ação do oxigênio natural do ar (catalisado pela energia solar) ou ozônio (derivado do oxigênio natural por ocasião das descargas elétricas atmosféricas – raios). O SO_3, por sua vez, reage com o vapor d'agua existente no ar formando uma neblina de ácido sulfúrico (TORRES; ROCHA; RIBEIRO, 2008).

A figura 01 mostra os diferentes tipos de fontes de poluição e os poluentes atmosféricos de acordo com a classificação.

Figura 01 - Fontes de poluição e poluentes atmosféricos



FONTE: http://www.h2brasil.com/

2.1.3 Principais Poluentes Associados à Emissão Veicular

Segundo a Resolução CONAMA nº 03/1990, entende-se como poluentes atmosféricos qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem-estar público;
- Danoso aos materiais, à fauna e flora;
- Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade.

A poluição do ar está relacionada à deterioração da qualidade original da atmosfera, envolvendo atividades humanas e/ou atividades naturais. Assunção e Hasegawa (2001) define poluição do ar como sendo a alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera que possa causar danos reais ou potenciais à saúde humana, à flora, à fauna, aos ecossistemas em geral, aos materiais e à propriedade, ou prejudicar o pleno uso e gozo da propriedade ou afetar as atividades normais da população ou o seu bem estar.

As principais fontes de emissão antropogênica de poluentes do ar são as atividades industriais e o transporte. As fontes industriais foram obrigadas a cumprir as exigências legais de controle de poluição do ar e diminuírem suas emissões. Mas, ainda assim, a poluição do ar nas cidades continuou sendo um problema, quando foi identificado que o transporte, fonte significativa de emissão de poluentes no ar, não tinha nenhuma ação de controle dos veículos (VIEIRA, 2009).

Os poluentes associados à emissão de origem veicular são resultados da combustão do combustível ou de sua evaporação. Os tipos de combustíveis mais comuns utilizados em transporte são: gasolina para veículos leves (automóveis) e o óleo diesel para os veículos pesados (ônibus e caminhões). Outros combustíveis são utilizados em veículos leves, como o álcool (etanol e metanol), gás natural veicular (GNV) e gás liquefeito de petróleo (GLP) (ONURSAL; GAUTAM, 1997).

A determinação da qualidade do ar está restrita a um grupo de poluentes, quer por sua maior frequência de ocorrência, quer pelos efeitos adversos que causam ao meio ambiente. Os poluentes primários emitidos pelos veículos automotores incluem o dióxido de

carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), o dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NOx) e os materiais particulados (MP). Os poluentes secundários associados às emissões dos veículos automotores incluem o dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3) os oxidantes fotoquímicos (por exemplo, o ozônio), o ácido sulfúrico, o ácido nítrico e seus sais (como os aerossóis de sulfatos e nitratos) (ONURSAL; GAUTAM, 1997). O quadro 01 relaciona a classificação dos poluentes de acordo com os principais poluentes resultante da combustão dos veículos automotores.

Quadro 01 - Principais poluentes resultante da combustão em veículos automotores

Classificação	Poluente	Sigla
Primários	dióxido de carbono	CO_2
	monóxido de carbono	CO
	hidrocarbonetos	HC
	dióxido de enxofre	SO_2
	óxidos de nitrogênio	NOx
	materiais particulados	MP
Secundários	dióxido de nitrogênio	NO_2
	ozônio	O_3

O monóxido de carbono (CO) resulta da combustão incompleta de combustíveis com carbono em veículos automotores. Uma vez emitidos para atmosfera, o CO é oxidado à (CO_2), entre dois e cinco meses. Os veículos automotores são as principais fontes de emissões de monóxido de carbono de origem antropogênica (ONURSAL; GAUTAM, 1997).

As concentrações mais altas de CO ocorrem quando da partida do motor frio, em macha lenta, nos sinais de trânsito e interseções rodoviárias e em engarrafamentos. Disso decorre como consequência os motores serem a principal fonte de emissão de CO para a atmosfera. As concentrações do monóxido de carbono na atmosfera urbana dependem da densidade do tráfego das ruas, da manutenção do motor e das condições meteorológica (VIEIRA, 2009).

O dióxido de carbono (CO_2) é emitido em diversos processos naturais e, por isso, não é considerado um poluente. Mas sua grande quantidade na atmosfera prejudica o equilíbrio do planeta, pois ocasiona o aumento dos gases do efeito estufa.

Os óxidos de nitrogênio (NO_X) referem-se a vários compostos químicos gasosos, formados pela combinação de oxigênio com o nitrogênio. Essas combinações são formadas, principalmente, nas câmaras de combustão de motores de veículos onde, além do combustível, também existe ar que contém grandes quantidades de nitrogênio e oxigênio que, devido a altas temperaturas existentes se combinam formando os NOx (SHER, 1998).

Entre as diversas combinações de poluentes, o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO_2) são os mais importantes na poluição atmosférica. De toda emissão atmosférica de óxido de nitrogênio, 90% se dá na forma de NO. Este, no ar, é gradualmente oxidado para formar dióxido de nitrogênio (NO_2), em um período de minutos ou horas (ONURSAL; GAUTAM, 1997).

A reação fotoquímica é uma entre as diversas reações que a luz solar, através da incidência de radiação, provoca. É através dela que milhares de produtos têm origem como, por exemplo, o **ozônio (O_3)** troposférico, formado a partir da reação do NOx e compostos orgânicos voláteis (COVs) em presença de luz solar, tendo este, papel fundamental na formação desse poluente (SHER, 1998).

As reações fotoquímicas que produzem o ozônio são:

$$2\,NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$$

$$NO_2 \longrightarrow \text{radiação ultravioleta} \longrightarrow NO + O^{\cdot}$$

$$O^{\cdot} + O_2 \longrightarrow O_3$$

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

As reações de decomposição do oxigênio e formação do ozônio são:

$$O_2 \longrightarrow \text{radiação ultravioleta} \longrightarrow 2\,O^{\cdot}$$

A radiação ultravioleta está associada às ondas eletromagnéticas com comprimento de onda menor que 200 nm. Este átomo de oxigênio ($O^{\cdot}$) reage com oxigênio (O_2), geralmente na presença de óxidos de nitrogênio, para produzir ozônio.

$$O^{\cdot} + O_2 \longrightarrow O_3$$

O ozônio torposférico é um poluente secundário, pois não é emitido diretamente por nenhuma fonte de poluição. Os veículos automotores contribuem, indiretamente, para a

formação do ozônio, pois emitem NO e NO_2 e compostos orgânicos voláteis, poluentes precursores da formação do ozônio (VIEIRA, 2009).

O dióxido de enxofre (SO_2) é um poluente primário resultante principalmente do processo de combustão dos combustíveis que contem enxofre, como os óleos combustíveis pesados.

Os veículos que utilizam gasolina emitem baixas concentrações de SO_2, pois em sua composição apresenta um teor muito baixo de enxofre. A contribuição de emissões significantes é através de veículos que usam óleo diesel, pois o teor de enxofre é muito superior ao da gasolina (VIEIRA, 2009).

Na atmosfera, SO_2 pode reagir com oxigênio e transformar-se em SO_3, que reage com a umidade do ar e forma o ácido sulfuroso (H_2SO_3) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4), sob a forma de gotículas, que podem ser transportados pelo vento a mais de centenas de quilômetros, antes de caírem sob a forma de deposição ácida (chuva ácida) (ONURSAL; GAUTAM, 1997).

A acidificação das chuvas está associada principalmente a presença de SO_2 e NOx provindos dos processos de combustão, especialmente de combustíveis fósseis. Na presença da radiação solar, as reações destes gases com a água da chuva, ocasionam a formação de ácidos nítrico e sulfúrico e como consequência diminui o pH da água de acordo com os níveis de poluição (MIRLEAN; VANZ; BAISCH, 2000).

A reação química é:

$$S_{(s)} + O_{2\,(g)} \longrightarrow SO_{2\,(g)}$$

$$2\,SO_{2\,(g)} + O_{2\,(g)} \longrightarrow 2\,SO_{3\,(g)}$$

Os óxidos ácidos formados reagem com a água para formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) de acordo com a equação:

$$SO_{3\,(g)} + H_2O_{\,(l)} \longrightarrow H_2SO_{4\,(aq)}$$

Ou pode também ocorrer a reação seguinte, formando o ácido sulfuroso (H_2SO_3):

$$SO_{2\,(g)} + H_2O_{\,(l)} \longrightarrow H_2SO_{3\,(aq)}$$

Os óxidos de nitrogênio (NOx), lançados no ar atmosférico através da combustão dos combustíveis, na presença de água (provenientes da chuva), reagem, formando o ácido nítrico como mostrado abaixo (STERN; BOUBEL; TURNER; FOX, 1984).

$$NO + ½\,O_2 \longrightarrow NO_2$$

$$4\,NO_{2\,(g)} + 2\,H_2O_{\,(l)} + O_2 \longrightarrow 4\,HNO_{3\,(aq)}$$

A acidificação das chuvas é um problema ambiental bem conhecido em muitas partes do mundo, em particular nas regiões de maior concentração industrial e de veículos. O

impacto das chuvas ácidas provoca a deterioração dos ambientes naturais, das águas, dos solos e vegetação; dos materiais empregados nas construções civis, monumentos antigos, entre outros (MIRLEAN; VANZ; BAISCH, 2000).

O **material particulado** (MP) é uma mistura heterogenia de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar, que continuamente estão variando em tamanho e composição química em um espaço de tempo. As fontes emissoras desses poluentes são as mais variadas: os veículos, as chaminés industriais, as usinas termelétricas, as queimas e os processos de incineração em geral. Fontes naturais também emitem partículas na atmosfera, como o pólen das flores, vulcões e a própria poeira depositada nas ruas ressuspensa pelos ventos e veículos. Conforme sua origem, as partículas carregam variadas substâncias tóxicas e cancerígenas que potencializam seus efeitos danosos sobre o meio ambiente e a saúde (YANAGI, 2010).

As medidas das concentrações de MP na atmosfera têm objetivos tanto científico quanto de regulamentação. Estudos de caráter científico buscam, em geral, relacionar composição química e faixa de tamanho, com vistas à identificação das fontes do MP, ao entendimento das transformações químicas na atmosfera e ao provimento de subsídios para uma melhor compreensão dos efeitos adversos do MP à saúde humana e para as ações de controle ambiental. Nas últimas décadas, a influência das atividades humanas no aumento das concentrações de MP na atmosfera vem recebendo maior atenção também devido a sua contribuição como forçante negativa no balanço energético global e nas mudanças das propriedades físicas das nuvens (SOUZA; MELLO; MARIANI; SELLA, 2010).

2.1.4 Principais afecções causadas por poluentes atmosféricos de origem veicular

Apesar dos notáveis avanços obtidos nas últimas décadas em direção a um ambiente com ar mais limpo, especialmente nos países desenvolvidos, os atuais níveis de poluição experimentados pela maior parcela da população humana continuam a se mostrar danosos à saúde (GOUVEIA et al., 2006; CASTRO et al., 2007).

Desde o começo do século XX, a poluição atmosférica nos centros urbanos tem sido identificada como um grave problema de saúde pública e tem sido demonstrado que tem vários efeitos deletérios sobre a saúde da população, mesmo em níveis que são considerados seguros na legislação ambiental. Segundo Moura et al. (2008), os gases e partículas ultrafinas provenientes da queima parcial de combustíveis fósseis em veículos automotivos, principalmente o diesel, são os fatores responsáveis pela maior prevalência de asma

brônquica e outras doenças alérgicas em populações residentes em áreas mais poluídas. Para Cendon et al. (2006) a incidência e prevalência de doenças cardiovasculares têm aumentado nas últimas décadas e tornou-se uma das principais causas de morte entre os adultos. Em áreas metropolitanas, o aumento dos níveis de poluentes atmosféricos constitui um fator de risco adicional para essas doenças.

Um número crescente de estudos publicados por todo o mundo, principalmente nos últimos 20 anos, tem mostrado evidências consistentes dos efeitos nocivos da poluição do ar na saúde humana (JUNGER; LEON, 2007; MARCILIO; GOUVEIA, 2007). Os estudos epidemiológicos evidenciam um aumento consistente de mortalidade e doenças respiratórias e cardiovasculares como na morbidade incluindo aumentos em sintomas respiratórios e diminuições nas funções pulmonares associadas à exposição a poluentes presentes na atmosfera, principalmente nos grupos mais susceptíveis, que incluem as crianças menores de 05 anos e indivíduos maiores de 65 anos de idade (IGNOTTI et al., 2007; CASTRO et al., 2009; MARTINS et al., 2006). Segundo Negrete et al. (2010) efeitos adversos dos poluentes também podem ser observados entre pessoas mais jovens sem doença preexistente. Pesquisas já identificaram que aumentos nas concentrações de poluentes induzem a alterações na pressão arterial de controladores de tráfego da cidade de São Paulo, saudáveis e com idades entre 31 e 55 anos.

Segundo Rosa et al. (2008) no Brasil as doenças respiratórias são responsáveis por aproximadamente 16% de todas as internações, 50% destes são devido a pneumonia. No entanto, nos grupos mais vulneráveis, tais como crianças, as doenças respiratórias são responsáveis por mais de 50% de todos internações (IGNOTTI et al., 2010).

A poluição atmosférica que é originada basicamente do tráfego veicular, as concentrações são mais altas próximas a vias com grande movimento de veículos e decrescem gradualmente com seu distanciamento. Diante disso, muitas investigações baseiam-se em métodos de avaliação da exposição indiretos baseados em informações de vias e tráfego, pois são capazes de mensurar os impactos das emissões veiculares na saúde da população exposta (HABERMANN; MEDEIROS; GOUVEIA, 2011). Os poluentes mais importantes associados a esses resultados são dióxido de enxofre (SO_2), o ozônio (O_3) e partículas possuindo um diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm (MP_{10}) (NASCIMENTO et al., 2006). Inúmeros estudos têm encontrado associações entre níveis diários de material particulado (MP_{10}), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), oxido de nitrogênio (NOx), óxido de enxofre (SOx) e entre outros, com uma série de efeitos na saúde (GOUVEIA; FREITAS; MARTINS; MARCILIO, 2006).

Segundo Habermann, Medeiros e Gouveia (2011), vários estudos epidemiológicos têm encontrado associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos de origem veicular e os efeitos adversos à saúde, como o aumento no número de internações hospitalares, aumento da mortalidade, diminuição da expectativa de vida, etc. Geralmente estes estudos são realizados em áreas urbanas onde a principal fonte de poluição do ar são os veículos automotores. Segundo levantamento que investigou sete capitais brasileiras, cerca de 5% do total de óbitos por causas respiratórias entre idosos (≥ 65 anos) e crianças (≤ 05 anos) a cada ano podem ser atribuídos à poluição atmosférica, com grande contribuição das fontes veiculares.

Entre os tópicos de maior interesse nas questões de poluição atmosférica, o **ozônio (O_3)** troposférico tem ocupado atualmente posição de destaque. Altos índices de concentração de ozônio superficial (ozônio no nível do solo) têm sido causa de grande preocupação nos centros urbanos em todo o mundo. Isto se deve, sobretudo, aos efeitos deste gás sobre a saúde humana e a vegetação. Tais efeitos, no entanto, não se restringem somente às áreas urbanas: a síntese do ozônio é governada por processos não-lineares, assim como acontece com sua dispersão e de seus precursores. Isto faz com que altos índices de concentração deste gás sejam observados mesmo em lugares remotos, onde a produção por emissões locais seria desprezível (MEIRA; DUCATI; TEIXEIRA, 2009)

O aumento dos índices de **ozônio (O_3)** atmosférico causa uma série de problemas à saúde humana, como o decréscimo nas funções pulmonares e aumento no risco de exacerbação de asma em pacientes mais susceptíveis. Estudos mostram também que há um aumento no número de internações hospitalares por doenças respiratórias em doentes com patologia respiratória preexistente. Quadros de rinite, laringite, sinusite e ardência nos olhos estão relacionadas a esse poluente secundário (GIODA; GIODA, 2006).

Bell et al. (2005) mostraram em seus estudos uma forte associação a curto prazo entre ozônio com efeitos para mortalidade cardiovascular e respiratória. Para Ribeiro (2008) o ozônio, em altas concentrações, pode afetar a função pulmonar, em baixas concentrações, causam tosse, engasgo, falta de ar, muco, coceira e ardor na garganta, náusea e diminuição da função pulmonar, quando em exercício.

O **Material Particulado** está diretamente relacionado a efeitos adversos à saúde humana. As partículas inaláveis (MP_{10}), ou seja, as que possuem diâmetro menor que 10 μm, são aquelas capazes de penetrar no sistema respiratório humano podendo ser depositadas desde as vias nasais até as partes mais profundas dos pulmões e, portanto, representam um risco para o desenvolvimento e a exacerbação de doenças respiratórias e

cardiovasculares. As MP_{10} são comumente subdivididas em partículas inaláveis grossas e finas (inhalable fine and coarse particles), sendo as primeiras aquelas de diâmetros entre 2,5 e 10 µm ($MP_{2,5-10}$) e as últimas, as de diâmetros menor que 2,5 µm ($MP_{2,5}$) (SOUZA; MELLO; MARIANI; SELLA, 2010).

A Organização Mundial de Saúde estima que a poluição atmosférica por material particulado (MP_{10}) contribui com cerca de 800 mil mortes prematuras a cada ano. No entanto, muitos estudos mostram que a relação é mais profunda e muito mais complicada do que se pensava inicialmente. O Material Particulado (MP_{10}) é composto por partículas extremamente pequenas e gotas de líquidos que contém ácidos, produtos químicos orgânicos, metais e partículas do solo e poeira, que quando inaladas, provocas sérios danos à saúde humana. A literatura mostra que o MP_{10} provoca agravamento dos sintomas respiratórios, um aumento no uso de medicamentos, diminuição da função pulmonar e aumento da mortalidade (ANDERSON; THUNDIUIL, 2011; MASCARENHAS et al., 2008).

Nos últimos anos têm sido reconhecidos efeitos tóxicos da poluição sobre a saúde cardiovascular. A exposição a altas concentrações de material particulado (MP) aumenta o risco de arritmia. Estudos mais recentes têm relatado uma associação entre a poluição por material particulado com risco de hospitalização em pacientes com insuficiência cardíaca (CASTRO et al., 2009).

Embora os efeitos do material particulado (MP_{10}) sobre a saúde sejam maiores para problemas respiratórios do que para óbitos por doenças cardiovasculares, o número de mortes atribuíveis ao MP_{10} é muito maior para doenças cardiovasculares do que por motivos respiratórios, devido à maior prevalência de doenças cardiovasculares na população em geral (BAI; KHAZAEI; EEDEN; LAHER, 2007).

Segundo Yatera et al. (2008), estudos epidemiológicos têm mostrado uma forte associação entre a exposição ao material particulado < 10 µm de diâmetro (MP_{10}) e o aumento de morbidade e mortalidade cardiovascular.

A afinidade do **monóxido de carbono (CO)** pela hemoglobina leva à formação de carboxihemoglobina, substituindo o oxigênio e ocasionando uma diminuição de seus níveis no sangue. Sendo assim, seus efeitos mais tóxicos são observados em órgãos como cérebro e coração, que demandam mais oxigênio (SCHIRMER; PIAN; SZYMANSKI; GAUER, 2011). Pode, ainda, provocar tonturas, dor de cabeça, sono e redução de reflexos, chegando a casos extremos, dependendo das condições de confinamento, que resultam a morte. Sua

ação é de efeito local, abrangendo quarteirões de uma área urbana próximos às fontes emissoras (PINTO, 2005).

Segundo estudo realizado por Freitas, Pereira e Saldiva (2012) o CO está associado a admissões hospitalares por parada cardíaca, mortes totais e internações por doenças cardiovasculares. Apesar do escasso substrato fisiopatológico, diversos autores tem encontrado associação entre incremento de doenças do aparelho respiratório e níveis de CO. Este achado provavelmente reflete a alta correlação entre material particulado e monóxido de carbono.

O **dióxido de carbono (CO_2)** não apresenta grandes problemas de toxicidade aos seres humanos. Entretanto, à medida que aumentam os níveis de concentração no ambiente, também se agrava a sensação de falta de ar. De acordo com a Associação de Saúde do Canadá, exposições contínuas podem conduzir à desmineralização dos ossos (SCHIRMER; PIAN; SZYMANSKI; GAUER, 2011).

O **Oxido de Nitrogênio (NO_2)** é um gás oxidante, solúvel nos tecidos e, devido a esse grau de solubilidade tissular, reage não só com o epitélio alveolar, como também com o interstício e o endotélio dos capilares pulmonares. Essa lesão oxidativa tem sido enunciada como o principal mecanismo formador de lesão pulmonar. A maior parte do NO_2 inalado é retida nos pulmões e depositada primariamente nos brônquios, bronquíolos respiratórios e terminais, com pequena deposição nos alvéolos. O NO_2 é capaz de lesar o pulmão diretamente através de suas propriedades oxidantes ou indiretamente por aumentar a suscetibilidade às infecções respiratórias. Apesar de os sintomas clínicos não aparecerem de imediato, a exposição continuada aos níveis de concentração de NO_2 normalmente encontrados no meio ambiente urbano pode provocar mudanças morfológicas pulmonares nos parâmetros bioquímicos (KURIYAMA; MOREIRA; SILVA, 1997).

Segundo Gioda e Gioda (2006), o oxido de nitrogênio quando puro não representa perigo à saúde humana, o NO_2, reage com todas as partes do corpo expostos ao ar (pele e mucosas) e provoca lesões celulares. Os epitélios das vias respiratórias são os mais atingidos, ocorrendo degenerações celulares e inflamações no sistema respiratório, desde o nariz até os alvéolos pulmonares. Os efeitos tóxicos causados pela inalação de NO_2 presente no ar afetam principalmente as crianças, com aumento das queixas respiratórias e da função pulmonar, e os asmáticos, por terem aumentada a resposta brônquica à histamina, à metacolina, e aos alergênicos.

Estudos mostram que os efeitos tóxicos dos óxidos de nitrogênio (NOx), atuam principalmente na saúde das crianças aumentando as queixas respiratórias e complicando a

função pulmonar. O poder reativo e oxidante deste poluente faz com que sua concentração seja baixa no ambiente, o que o torna menos nocivo em relação aos demais (SANTOS; VAREJÃO; SILVA, 2011).

A exposição a altos níveis de **dióxido de enxofre (SO_2)**, mesmo a curto prazo, causa efeitos adversos à saúde que já são bastante conhecidos. Estudos realizados pela American Thoracic Society Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly (1996) mostraram que altos níveis de SO_2 resultaram em índices agudos de morbidade e mortalidade diretamente associados com graves casos de poluição ocorridos em Donora (Pennsylvania), Londres e em Nova York nos anos 1940, 1950 e 1960. Além disso, estudos experimentais realizados com câmaras de SO_2 em adultos asmáticos, mostraram acentuada resistência das vias aéreas na realização de exercícios minutos após terem sidos submetidos a níveis similares àqueles encontrados hoje no ambiente (SMARGIASSI et al., 2009).

Pengelly (1992) verificou, numa amostra de 1200 usuários do Serviço Público de Saúde de Ontario, Canadá, em localidades próximas a estações de Avaliação da Qualidade do Ar, considerável aumento da procura por atendimento médico sempre que houve recrudescimento dos níveis médios de SO_2 presente no ar.

Segundo Pinto (2005), os óxidos de enxofre se absorvidos pelo trato respiratório superior podem provocar tosse, sensação de falta de ar, respiração ofegante, rinofaringites, diminuição da resistência orgânica às infecções, bronquite crônica e enfisema pulmonar.

2.2 ASPECTOS LEGAIS SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Devido ao acelerado crescimento da frota nacional de veículos automotores, do crescimento industrial e urbano e os seus reflexos negativos para a sociedade, o meio ambiente e a economia, o Brasil estabeleceu programas relacionados a qualidade do ar que vem sendo estudados e atualizados desde os anos 1980. Dentre esses, estão:

- PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores e
- PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar.

A partir da constatação da gravidade do problema da poluição atmosférica nos grandes centros urbanos brasileiros, verificou-se no inicio dos anos 80 a necessidade de criar um programa nacional que contemplasse as emissões atmosféricas de origem veicular (BRASIL, 2004).

Em 1986 foi estabelecido e regulamentado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução nº 18, de 06 de Maio de 1986, o Plano de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, que têm como finalidade a redução dos níveis de emissões de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar; promover o desenvolvimento tecnológico nacional da engenharia automobilística e métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes; promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis postos à disposição da frota de veículos automotores no país, visando à redução de emissões de poluentes na atmosfera.

O PROCONVE classifica os veículos em duas categorias:

- Veículos leves: veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar até doze passageiros ou com massa total máxima igual ou inferior a 2.800 Kg;
- Veículos Pesados: veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar mais que doze passageiros ou com massa total máxima superior a 2.800 Kg.

Segundo Cavalcanti (2010) a estratégia do PROCONVE objetiva o controle das emissões de poluentes dos veículos leves e pesados. Desta forma, foram estabelecidos limites máximos para emissão de poluentes, implantados em fases sucessivas, e cada vez mais severos, com prazos para a adequação dos veículos. O PROCONVE envolve, também, a homologação prévia e acompanhamento da conformidade de produtos e programas de inspeção e manutenção. Para o atendimento aos limites é necessária, ainda, a adequação das especificações dos combustíveis, tarefa que é atribuição da Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP).

Inicialmente, o PROCONVE priorizou o segmento de veículos leves, em razão de sua utilização intensiva, caracterizando o setor como o maior emissor de poluentes atmosféricos. Assim, ao estabelecer limites de emissão de poluentes no escapamento desses veículos, foi necessário conceder prazos para que a indústria automobilística nacional viesse a promover as adaptações necessárias. As inovações tecnológicas dos motores que se seguiram, objetivando a otimização de seu funcionamento como forma de obtenção de uma queima mais eficiente de combustível, apresentaram como reflexos imediatos a adaptação da indústria de autopeças e a melhoria nas especificações dos combustíveis.

A primeira fase implantada para os veículos leves (L-1), em 1988, foi caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento da produção. Já na segunda fase (L-2), em 1992, foram necessários o desenvolvimento e a introdução de novas tecnologias, em especial a injeção eletrônica de combustível e os conversores catalíticos. Nesta fase, foi intensificado o desafio tecnológico, principalmente para permitir a adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo. Para a terceira fase (L-3), que teve início em 1997, a indústria adicionou aos itens da segunda fase o sensor de oxigênio. Em 2003, teve início a quarta fase (L-4), onde a indústria automobilística trabalhou no desenvolvimento de motores para atender aos níveis por meio de melhoria da combustão. A quinta fase (L-5) que teve início em 2009. Essas duas últimas fases visaram principalmente à redução de emissões de material particulado, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos (HC) (LEMOS, 2010).

A tabela 01 apresenta a evolução dos limites de emissão de poluentes para os veículos leves de passageiros de acordo com as fases do PROCONVE.

Tabela 01 - Limites máximos de emissões de poluentes para veículos leves de passageiros

POLUENTES	**1 ª Fase L-1 (1988)**	**2 ª Fase L-2 (1992)**	**3 ª Fase L-3 (1997)**	**4 ª Fase L-4 (2003)**	**5 ª Fase L-5 (2009)**
Monóxido de carbono – CO (g/Km)	24,00	22,00	2,00	2,00	2,00
Hidrocarbonetos - HC (g/Km)	2,1	1,2	0,3	0,3*	0,3*
Hidrocarbonetos não metano - NMHC (g/Km)	NE	NE	NE	NE	NE
Óxido de Nitrogênio -NOx (g/Km)	2,00	1,40	0,60	0,25 ** ou 0,60***	0,12 ** ou 0,25***
Material Particulado –MP (g/Km)	NE	NE	0,05	0,05	0,05
Aldeídos (CHO)	NE	0,15	0,03	0,03	0,02

NE – não exigível
* Aplicável somente a veículos movidos a GNV
** Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol
*** Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel

Com relação aos veículos pesados, ônibus e caminhões, o Proconve estabeleceu seis fases específicas. Os fabricantes, já em 1990, estavam produzindo motores com níveis de emissão menores que os requeridos para 1993, ano em que teve início o controle de emissão para veículos deste tipo com a introdução das fases um (P-1) e dois (P-2). Nesse período, os limites para emissão gasosa (fase 1) e material particulado (fase 2) não foram exigidos legalmente. Para atender aos limites da fase três (P-3), vigente a partir de 1994, o desenvolvimento de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões gasosas de óxidos de nitrogênio (NOx). Em 1998, a fase quatro (P-4), reduziu ainda mais os limites criados pela fase três (P-3). Em 2004 foi implantada a quinta fase para veículos pesados (P-5) e, em 2009, a fase seis (P-6). Essas duas últimas fases também têm como principal objetivo a redução de emissões de material particulado, NOx e HC. A tabela 02 apresenta os limites do PROCONVE para os veículos movidos a diesel.

Tabela 02 - Limites do PROCONVE para veículos diesel (g/kW.h)

FASES	CO	HC	NOx	MP
P1 (1993)	14,00*	3,50*	18,00*	*
P2 (1993)	11,20	2,45	14,40	0,60*
P3 (1994)	4,90	1,23	9,00	0,40
P4 (1998)	4,00	1,10	7,00	0,15
P5 (2004)	2,10	0,66	5,00	0,10
P6 (2009)	1,50	0,46	3,50	0,02

*Não foram exigidos legalmente

O PROCONVE foi extremante importante, pois além de ter contribuído para a redução da emissão de poluentes por veículos automotores, propiciou ao setor automobilístico nacional e ao setor de combustível a capacitação para adequar-se tecnologicamente a limites mais restritivos de emissões.

Tendo em vista a compatibilização entre o crescimento econômico do país e a preservação da qualidade ambiental, percebeu-se a importância da criação de uma política nacional voltada à ações de caráter normativo e de fortalecimento institucional visando a prevenção e o controle da qualidade do ar no país (MMA, 2010).

Nesse contexto de demandas institucionais e normativas, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, por meio da Resolução nº 05 de 15 de junho de 1989, criou o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - PRONAR, como um instrumento de gestão ambiental para a proteção da saúde, ao bem-estar da população e melhoria da qualidade de vida com o intuito de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas.

A estratégia básica do PRONAR, conforme disposto na referida resolução, é de estabelecer limites, a nível nacional, para as emissões, por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle. Para que isso fosse implementado, foram definidas metas de curto, médio e longo prazos para que se desse prioridade à alocação de recursos e fossem direcionadas as ações.

Segundo a resolução supracitada, os limites máximos de emissão é definido como sendo a quantidade de poluentes permissível de ser lançado por fontes poluidoras na atmosfera. Esses limites são diferenciados em função da classificação de usos pretendidos para as diversas áreas e serão mais rígidos para as novas fontes de poluição (empreendimentos que não tenham obtido a licença prévia do órgão ambiental licenciador na data de publicação).

Para a implementação de uma política de não deterioração significativa da qualidade do ar em todo o território nacional, suas áreas serão enquadradas de acordo com a classificação apresentada no quadro 02.

Quadro 02 - Classificação das áreas de acordo com os usos pretendidos

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

FONTE: Resolução CONAMA nº 05/89

O primeiro dispositivo legal decorrente do PRONAR foi a resolução do CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990, que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar (PQAr), hoje ainda em vigor. Esses padrões definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera que garanta a proteção da saúde e ao meio ambiente e foram baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Foram estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários. São primários as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, aumentam o risco de efeitos adversos à saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. São padrões secundários as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo. O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar.

Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 03 - Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº03 de 28/06/90)

Poluentes	Tempo de Amostragem	Padrão Primário (µg/m³)	Padrão Secundário (µg/m³)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 Horas[1]	240 µg/m^3	150 µg/m^3
	MGA[2]	80 µg/m^3	60 µg/m^3
Dióxido de Enxofre (SO_2)	24 Horas[1]	365 µg/m^3	100 µg/m^3
	MAA[3]	80 µg/m^3	40 µg/m^3
Monóxido de Carbono (CO)	1 Hora[1]	40.000 µg/m^3 35ppm	40.000 µg/m^3 35ppm
	8 Horas[1]	10.000 µg/m^3 9ppm	10.000 µg/m^3 9ppm
Ozônio (O_3)	1 Hora[1]	160 µg/m^3	160 µg/m^3
Fumaça	MAA3	60 µg/m^3	40 µg/m^3
Partículas Inaláveis (MP_{10})	24 Horas[1]	150 µg/m^3	150 µg/m^3
	MAA[3]	50 µg/m^3	50 µg/m^3
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	1 Hora[1]	320 µg/m^3	190 µg/m^3
	MAA[3]	100 µg/m^3	100 µg/m^3

1-Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. 2- Média Geométrica Anual. 3-Média Aritmética Anual

Fonte: Resolução CONAMA 03/90

A referida Resolução estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

Tabela 04 - Critérios para caracterização de episódios agudos de poluição do ar

Parâmetros	Período	Concentrações (limite)		
		Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre ($\mu g/m^3$)	24 horas	800	1.600	2.100
Partículas totais em suspensão PTS ($\mu g/m^3$)	24 horas	375	625	875
SO_2 ($\mu g/m^3$)	24 horas	65.000	261.000	393.000
Monóxido de carbono (ppm)	8 horas	15	30	40
Ozônio ($\mu g/m^3$)	1 hora	400	800	1.000
Partículas inaláveis ($\mu g/m^3$)	24 horas	250	420	500
Fumaça ($\mu g/m^3$)	24 horas	250	420	500
Dióxido de nitrogênio ($\mu g/m^3$)	1 hora	1.130	2.260	3.000

Fonte: Resolução CONAMA 03/90

Com o intuito de colocar definitivamente o país na busca da redução das emissões de gases e partículas poluidoras pela frota de veículos em circulação surgiu o Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV, que é uma determinação do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que se refere ao monitoramento e implantação de programas de controle veicular, especialmente para os grandes centros urbanos. Sua construção pelos órgãos estaduais de meio ambiente de toda a União, decorre da Resolução, nº 418, de 25 de novembro de 2009.

O PCPV é um instrumento de gestão da qualidade do ar que veio integrar-se ao Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR e ao Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, contendo um conjunto de ações de gestão com o objetivo de estabelecer medidas e fixar critérios e normas que irão subsidiar a elaboração e implantação do Programa de Inspeção de Manutenção de Veículos em uso com intuído de reduzir as emissões geradas pela frota de veículos em circulação.

O principal objetivo do PCPV é rever, atualizar e sistematizar a legislação referente à inspeção veicular ambiental, tendo em vista a evolução da tecnologia veicular e o desenvolvimento de novos procedimentos de inspeção, e a necessidade de desenvolvimento sistemático de estudos de custo-benefício, visando ao aperfeiçoamento contínuo das políticas públicas de controle da poluição do ar por veículos automotores.

Na Bahia, o cronograma de implantação de inspeções do PCPV/BA prevê o cumprimento do disposto no Art. 2º da Resolução CONAMA 426/2011, que impõe aos Estados a sua implantação até 25 de abril de 2012.

Segundo dados do DENATRAN, de novembro de 2012, a frota veicular do estado da Bahia, conta com 2.849.664 veículos, equivalendo a 3,77% da frota Nacional. Outro dado importante é a evolução da frota que registra um crescimento na ordem de 8% ao ano. Esses dados demonstram a necessidade da implantação de diretrizes para o sistema de gestão e controle da emissão de poluentes veicular e do consumo de combustíveis, principalmente se considerados os problemas das faltas de manutenção e manutenções inadequadas.

2.3 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

2.3.1 Rede de monitoramento da qualidade do ar

Conforme conceitos da International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC, "Rede de Monitoramento Atmosférica", são duas ou mais estações de medidas de ar estabelecidas em uma dada região geográfica onde medidas periódicas regulares de concentração de poluentes e parâmetros meteorológicos são feitas, simultaneamente, para determinar a extensão e a natureza da poluição química e estabelecer as tendências das concentrações de poluentes atmosféricos no tempo (FRONDIZI; KALYVA, 2008).

Para Frondizi e Kalyva (2008) o monitoramento da poluição do ar pode ser dividida basicamente em dois grupos:

- Monitoramento das emissões: trata-se de medição da concentração, ou da taxa de emissão dos poluentes que estão sendo emitidos por dutos e chaminés;
- Monitoramento da qualidade do ar: está dedicada a medir e quantificar as concentrações dos poluentes no ar do ambiente, onde as pessoas, animais e plantas estão expostas, podendo afetar a saúde e aos materiais.

Na Resolução CONAMA nº 03/90 em seu artigo 4º, informa que o monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos estados. Além deste fato, os episódios críticos de poluição do ar ocorridos no estado demandam a existência de um programa de monitoramento da qualidade do ar, que permita acompanhar os níveis de poluentes do ar atmosférico em diversos locais para assim permitir e entender detalhes do comportamento dos poluentes na área monitorada, gerando informações para subsidiar a tomada de decisão

pelo gestor público diminuindo assim os efeitos negativos gerados pela poluição ao meio ambiente e a saúde humana.

Segundo Curilov (2007) os principais objetivos de uma rede de monitoramento da qualidade do ar são:

- criar uma base científica para o desenvolvimento e priorização de ações de controle;
- avaliar se os níveis de poluição estão atendendo aos padrões legais;
- avaliar a eficácia de ações de controle;
- avaliar as tendências da qualidade do ar, permitindo inclusive identificar futuros problemas de poluição do ar;
- avaliar os níveis de poluição aos quais a população está exposta e fornecer subsídios para a avaliação dos efeitos da poluição sobre a saúde;
- informar a população dos níveis de poluição do ar;
- fornecer informações para o gerenciamento da qualidade do ar, em termos de planejamento de tráfego e uso do solo;
- identificar as principais fontes poluidoras;
- avaliar o impacto de determinadas fontes;
- identificar a influência sobre os ecossistemas em geral;
- criar subsídios para o desenvolvimento e validação de ferramentas de gestão atmosférica (modelos de qualidade do ar, sistemas de informações geográficas etc.).

Segundo Frondizi e Kalyva (2008), os métodos de medição podem ser divididos em:

- Métodos de amostragem e análise posterior;
- Métodos contínuos

Os métodos com amostragem e análise posterior são os mais usados no Brasil. Estes são, basicamente, métodos manuais nos quais primeiramente é coletado uma amostra que separa ou retém do ar mostrado, o poluente desejado. Num segundo momento, esta amostra é analisada em laboratório.

Os métodos contínuos utilizam equipamentos bem mais complexos e automáticos, que continuamente estão analisando a concentração dos poluentes no ar, sem necessidade de qualquer análise posterior.

2.3.2 Fatores que influenciam a poluição do ar

A magnitude do impacto na qualidade do ar em uma determinada região depende das condições atmosféricas dominantes, responsável pelo transporte, transformação e dispersão dos poluentes emitidos, bem como possíveis ocorrências de situações críticas de poluição do ar, provenientes de fontes fixas e móveis. A dispersão atmosférica de poluentes é função de um conjunto de parâmetros meteorológico e topográficos que atuam simultaneamente no sentido de aumentar ou reduzir os níveis de poluição em uma determinada região (LYRA; TOMAZ, 2006).

As condições meteorológicas que constituem fatores importantes para a definição dos níveis de poluição na atmosfera, influenciam o tempo de permanência do poluente no local lançado. Isso ocorre, porque, assim que o contaminante é emitido para a atmosfera terrestre, sofre a ação de variáveis como velocidade e direção do vento, taxa de precipitação, temperatura, instabilidade do ar, entre outras. A relação que o poluente terá com essas variáveis, ou seja, com o perfil climatológico de um local, que determinará se o mesmo permanecerá no ar sob a forma emitida, se irá mudar sua composição, ou ainda, se irá ser disperso para um novo lugar (GUERRA; MIRANDA, 2011).

Outras características da região, olhando de forma mais específica para a micro-escala, tais como, topografia, a existência ou não de edifícios, o tipo de solo e a quantidade e espécie de vegetação existente, também irão determinar o caminho do poluente emitido na atmosfera terrestre. Essas características locais possuem a capacidade de modificar o micro-clima de determinada região. Esse clima local modificado em relação às extremidades externas que tem a capacidade de deixar aquele espaço com um micro-clima mais ou menos favorável à dispersão dos poluentes, melhorando ou piorando a qualidade do ar no local específico (GUERRA; MIRANDA, 2011).

São inúmeros os fatores meteorológicos que determinam o comportamento dos poluentes na atmosfera, dentre eles, o comportamento da precipitação pluviométrica permite verificar quantitativamente se a atmosfera esteve mais ou menos estável, favorecendo ou não a dispersão desses poluentes. Quando a atmosfera está mais instável, ou seja, com movimentos de ar, favorece a dispersão de poluentes, promovendo a remoção destes, pois uma grande parte desses poluentes é incorporado à água da chuva. Além disso, o solo úmido evita que haja ressuspensão das partículas para a atmosfera (SETESB, 2009).

A direção e velocidade dos ventos propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos, determinando sua trajetória e alcances possíveis. Em situações de calmaria

ocorre a estagnação do ar, proporcionando um aumento nas concentrações de poluentes na região local (INEA, 2009).

A umidade relativa do ar, além de ser um parâmetro que caracteriza o tipo de massa de ar que está atuando em uma dada região, é um parâmetro bastante significativo para determinar a qualidade do ar, uma vez que a disponibilidade de vapor d'água próximo à superfície, associado ao padrão de ventos da região, pode favorecer o desenvolvimento de nuvens e precipitação, tornando o cenário favorável à dispersão. Entretanto, a ocorrência de baixa umidade relativa pode agravar o problema de doenças respiratórias e quadros clínicos, além de causar desconforto à população (INEA, 2009).

A temperatura pode alterar significativamente a dispersão dos poluentes em uma determinada região, uma vez que sua variação pode influenciar diretamente na estabilidade atmosférica, fazendo com que seja criada uma região favorável à convecção[1]. Caso a condição de instabilidade seja verificada, promoverá uma maior mistura de poluentes na camada limite atmosférica favorecendo uma maior dispersão dos poluentes (INEA, 2009).

2.3.3 Padrões de Qualidade do Ar – PQAr

Os dados das concentrações dos poluentes e os meteorológicos são obtidos través de estações automáticas de monitoramento contínuo da qualidade do ar. Para a divulgação desses dados, foi criado, o índice de qualidade do ar que é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. Esse índice é utilizado desde 1981, e foi criado usando como base uma longa experiência desenvolvida no Canadá e EUA.

Para efeito de divulgação, é utilizado o índice mais elevado dos poluentes medidos em cada estação. Portanto, a qualidade do ar em uma estação é determinada diariamente pelo pior caso entre os poluentes monitorados. A relação entre índice, qualidade do ar e efeitos à saúde é apresentado no quadro 03 e 04. Também, foi incorporada uma cor para representar cada classificação da qualidade do ar (CETESB, 2009).

[1]A convecção é o processo de transmissão do calor, nos líquidos ou nos gases, por efeito das camadas aquecidas que se chamam correntes de convecção. O ar, que é livre para circular será posto em movimento quando ocorre a diferença de temperatura, pois ele absorverá calor das paredes mais quentes, tornando-se mais aquecido, expandindo-se e tornando-se mais leve. A porção aquecida do ar se elevará e o ar mais frio se moverá em seu lugar, que por sua vez se tornará aquecido.

Quadro 03 - Índice de Qualidade do Ar

Qualidade	Índice	MP_{10} ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)	NO_2 ($\mu g/m^3$)	SO_2 ($\mu g/m^3$)	Fumaça ($\mu g/m^3$)	PTS ($\mu g/m^3$)	Significado
Boa	**0-50**	**0 -50**	**0-80**	**0 - 4,5**	**0-100**	**0-80**	**0-60**	**0-80**	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	**51-100**	**>50-150**	**>80-160**	**>4,5-9**	**>100-320**	**>80-365**	**>60-150**	**>80-240**	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	**101-199**	**>150 e < 250**	**>160 e < 200**	**> 9 e < 15**	**>320 e < 1130**	**>365 e < 800**	**>150 e 250<**	**>240 e 375 <**	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	**200-299**	**≥250 e <420**	**≥200 e <800**	**≥15 e <30**	**≥1130 e <2260**	**≥800 e <1600**	**>250 e 420 <**	**>375 e 625 <**	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
Péssima	**≥ 300**	**≥420**	**≥800**	**≥30**	**≥2260**	**≥1600**	**≥420**	**≥625**	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2009

Quadro 04 - Principais efeitos à saúde em relação a cada poluente atmosférico proveniente dos veículos

Qualidade	Índice	MP_{10} ($\mu g/m^3$)	O3 ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)	NO2 ($\mu g/m^3$)	SO2 ($\mu g/m^3$)
Boa	**0-50**	**0 -50**	**0-80**	**0 - 4,5**	**0-100**	**0-80**
Regular	**51-100**	**>50-150** Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	**>80-160** Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	**>4,5-9** Pessoas com doenças cardíacas podem apresentar sintomas como cansaço e dor no peito	**>100-320** Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	**>80-365** Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço
Inadequada	**101-150**	**>150 e ≤200** Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço	**>160 e ≤180** Pessoas com doenças respiratórias, como asma, e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço	**>9 e ≤ 12** População em geral pode apresentar sintomas como cansaço. Pessoas com doenças cardíacas têm os sintomas como cansaço e dor no peito agravados	**>320 e ≤720** População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias e crianças têm os sintomas agravados	**>365 e ≤575** População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados
	151-199	**>250 e <250** Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	**>180 e <200** Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	**>12 e <15** Aumento de sintomas em pessoas cardíacas. Aumento de sintomas cardiovasculares na população em geral	**>720 e <1130** Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	**>576 e <800** Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral
Má	**200-250**	**≥250 e ≤350** Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio	**≥200 e ≤400** Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica	**≥15 e ≤22** Agravamento das doenças cardiovasculares, como infarto do miocárdio e insuficiência cardíaca congestiva	**≥1130 e ≤1690** Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica	**≥800 e ≤ 1200** Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio
	251-299	**>350 e <420** Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares e respiratórios, como tosse, cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares. Risco de agravos à gestação	**>400 e <800** Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e dificuldade de respirar na população em geral. Risco mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	**>22 e <30** Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares, como dores no peito, na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças cardiovasculares.	**>1690 e <2260** Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e dificuldade de respirar na população em geral. Risco mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	**>1200 e<1600** Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e cardiovasculares, como tosse , cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares
Péssima	**≥300**	**≥420** Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias	**≥800** Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	**≥30** Sérios riscos de manifestações de doenças cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças cardiovasculares	**≥2260** Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	**≥1600** Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias

Para identificação visual e imediata da qualidade do ar a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB adotou cores que a referenciam, sendo verde para boa, amarelo para regular, laranja para inadequada, vermelho para má e púrpura para péssima.

Individualmente, cada poluente apresenta diferentes efeitos sobre a saúde da população para faixas de concentração distintas, identificados por estudos epidemiológicos desenvolvidos dentro e fora do país. Tais efeitos sobre a saúde requerem medidas de prevenção a serem adotadas pela população afetada.

2.4 MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO

Os modelos estatísticos constituem ferramentas eficientes para avaliar o impacto da poluição atmosférica sobre a saúde da população. Para esses casos, a variável resposta, geralmente, constitui uma contagem de evento que representam danos à saúde, como por exemplo, o número de internações por doenças respiratórias. As variáveis explicativas para esse tipo de estudo, geralmente, são os poluentes atmosféricos, tais como NO_2, SO_2, CO, O_3 e (MP_{10}). Segundo Conceição et al. (2001), as variáveis explicativas citadas acima são fortemente influenciadas por fatores sazonais e pelas condições climáticas, como temperatura e a umidade do ar. Entretanto, a forma como esses fatores exercem sua influência sob o desfecho não é tão óbvio. As relações entre as diversas variáveis intervenientes podem não apresentar o mesmo comportamento ao longo de todos os valores do seu domínio e, mesmo se o apresentarem, a intensidade da associação pode não ser constante.

Diante da complexidade das relações de interesse, a escolha do modelo apropriado para a análise do estudo é uma etapa extremamente importante. Os modelos de regressão objetivam avaliar a relação entre uma ou mais variáveis independentes ($x_1,x_2,..., x_p$) em relação a variável dependente (y), mas a sua escolha dependerá da natureza da variável resposta.

Segundo Schmidt (2003), nem sempre é possível aplicar o modelo de regressão linear em estudos epidemiológicos, como por exemplo, estudos sobre impacto da poluição do ar sobre a saúde da população, devido ao caráter não linear da variável resposta. Nestes casos, geralmente utilizam-se como alternativa a classe dos modelos lineares generalizados (MLG) propostos por Nelder e Wedderburn (1972).

Para Paula (2004), a ideia básica dos modelos lineares generalizados (MLG) consiste em abrir o leque de opções para a distribuição da variável resposta, permitindo que ela

pertença à família exponencial de distribuições, bem como dar maior flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear.

Nelder e Wedderburn (1972) mostraram que um conjunto de modelos de regressão estudados separadamente, denominadas de modelos de regressão, sendo uma extensão dos modelos clássicos de regressão, que denominaram de modelos lineares generalizados (MLG). A estrutura dos modelos lineares generalizados (MLG), de uma forma geral, é formada por três partes: uma *componente aleatória* composta de uma variável aleatória Y com n observações independentes, um vetor de médias μ e uma distribuição pertencente à família exponencial; uma *componente sistemática* composta por variáveis explicativas $x_1, \dots, x_p$ tais que produzem um preditor linear η; e uma função monotônica diferenciável, conhecida como *função de ligação* que relaciona o componente aleatório e sistemático (CORDEIRO; LIMA NETO, 2004).

2.4.1 Componente aleatória

Seja um vetor de observações $\mathrm{y} = (\mathrm{y}_1, \dots, \mathrm{y}_\mathrm{n})^\mathrm{T}$ referente às realizações das variáveis aleatórias $Y = (Y_1, \dots, Y_n)^T$, independentes e identicamente distribuídas, com médias $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)^T$. A parte aleatória de uma MLG supõe que cada componente de Y segue uma distribuição da família exponencial definida por

$$f_Y(y;\ \theta, \phi) = \exp\left\{\frac{[y\theta - b(\theta)]}{a(\emptyset)} + \ c(y, \emptyset)\right\}, \qquad (1)$$

onde $a\,(.), b(.)\ e\ c(.)$ são funções conhecidas; $\phi > 0$ é denominado parâmetro de dispersão e θ, parâmetro canônico que caracteriza a distribuição em (1) (CORDEIRO; LIMA NETO, 2004).

Dentre as distribuições mais importantes que compõem a classe dos modelos lineares generalizados (MLG), temos: Normal, Poisson, binomial, gama e normal inversa.

2.4.2 Componente sistemático

As variáveis explanatórias ou explicativas $x'_i = \left[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}\right], i = 1, 2, \dots, n$ que dão origem a um vetor de preditores lineares:

$$\eta = X\beta$$

em que η, chamado componente sistemática ou preditor linear, é um vetor de dimensões n x 1; $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p)', p < n$, é um vetor de p parâmetros desconhecidos a serem estimados e X é uma matriz modelo n x p ($p < n$) (COSTA, 2003).

2.4.3 Função de ligação

A função de ligação faz a ligação entre o componente aleatório e o componente sistemático por meio de uma função de ligação $g(.)$, monótona e diferenciável, que liga à média μ do vetor de dados ao preditor linear η, isto é,

$$g(\mu_i) = \eta_i = x_i'\beta$$

Se Y tem distribuição de Poisson, com $\mu > 0$, a função de ligação adequada é a logaritmica $(\eta = \log \mu)$, pois esta tem o domínio positivo e o contradomínio na reta real $(-\infty, +\infty)$ (CORDEIRO; LIMA NETO, 2004).

Existem diversas possibilidades de escolha da função de ligação. Porém, a escolha dependerá do problema em particular. Cada distribuição que compõem a classe dos modelos lineares generalizados (MLG) tem uma função de ligação que está associada ao preditor linear η e define uma estatística suficiente com a mesma dimensão de β. Estas ligações são chamadas de canônicas e ocorrem quando $\theta = \eta$, onde θ é o parâmetro canônico (CORDEIRO; LIMA NETO, 2004). As funções de ligação canônicas para as principais distribuições estão apresentadas na tabela 05.

Tabela 05 - Ligações Canônicas para os MLG

Distribuição	Função de ligação canônica
Normal	Identidade: $\eta = \mu$
Poisson	Logarítmica: $\eta = \log \mu$
Binomial	Logística: $\eta = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right)$
Gama	Recíproca: $\eta = \frac{1}{\mu}$
Normal Inversa	Recíproca do quadrado: $\eta = \frac{1}{\mu^2}$

A escolha da função de ligação canônica é conveniente porque simplifica as estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros do modelo, porém, a conveniência

não implica necessariamente em qualidade de ajuste do modelo, o que é mais importante, podendo dessa forma utilizar outras funções de ligações (MYERS; MONTGOMERY; VINING, 2002).

2.4.4 Modelo de Regressão de Poisson

Dentre as distribuições que compõem a componente aleatória dos modelos lineares generalizados, a mais utilizada em estudos sobre o impacto da poluição atmosférica na saúde da população é a distribuição de Poisson, isso porque esse tipo de distribuição é muito utilizada para descrever dados de contagem como por exemplo, a quantidade de pessoas com uma determina doença (TADANO; UGAYA; FRANCO, 2009).

A variável aleatória Y tem distribuição de Poisson, com parâmetro $\mu > 0$, usada para análise de dados na forma de contagem, e função de probabilidade dada por

$$f(Y = y) = \exp(-\mu)\frac{\mu^y}{y!}, \qquad y = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

A ligação canônica para o modelo de regressão de Poisson é a logaritmica

$$\eta = \log \mu .$$

Estimação dos parâmetros

Segundo Cordeiro e Lima Neto (2004), no contexto dos modelos lineares generalizados (MLG), existem diversos métodos para estimar os parâmetros β, os quais podemos citar: estimação – M, Bayesiano, qui-quadrado, mínimo e o método da máxima verossimilhança.

Nelder e Wedderburn (1972) desenvolveu o algoritmo de estimação dos parâmetros $\beta's$ através do método conhecido como *Método Escore de Fisher*, em que a principal diferença em relação ao modelo clássico de regressão é que as equações de máxima verossimilhança são não-lineares (CORDEIRO; LIMA NETO, 2004).

Seja $l(\beta)$ a log-verossimilhança como função de β. No método escore de Fisher utilizam a função escore

$$U(\beta) = \frac{\partial l(\beta)}{\partial \beta},$$

e a matriz de informação de Fisher

$$K = \left\{ E\left(\frac{\partial^2 l(\beta)}{\partial \beta_j \partial \beta_s} \right) \right\} = -E\left(\frac{\partial U(\beta)}{\partial \beta} \right).$$

Para desenvolver o algoritmo de estimação do MLG considere a componente sistemática

$$\eta_i = \sum_{r=1}^{p} x_{ir}\, \beta_r = x_i^T \beta,$$

onde x_i^T é a i-ésima linha de X.

A log-verossimilhança é dada por

$$l(\beta) = \frac{1}{a(\emptyset)} \sum_{i=1}^{n} \{ y_i\, \theta_i - b(\theta_i) \} + \sum_{i=1}^{n} c(y_i\, , \emptyset).$$

Derivando $l(\beta)$ em relação ao vetor β, tem-se

$$U(\beta) = \frac{\partial l(\beta)}{\partial \beta} = \frac{1}{a(\emptyset)} \sum_{i=1}^{n} \{ y_i\, \theta_i - b'(\theta_i) \} \frac{\partial \theta_i}{\partial \beta}.$$

A matriz de informação para β é dada por

$$K = \frac{1}{a(\emptyset)} X^T W X,$$

onde W é a matriz diagonal de pesos definidos por

$$w_i = V_i^{-1} g'(\mu_i)^{-2}.$$

A função escore, usando esta matriz de pesos, é expressa como

$$U(\beta) = X^T W z,$$

onde z é um vetor com dimensões $n\ x\ 1$ dado por

$$z_i = (y_i - \mu_i) \left(\frac{\partial g(\mu_i)}{\partial \mu_i} \right).$$

Utilizando estes dois resultados, o algoritmo escore de Fisher para calcular a estimativa de máxima verossimilhança (EMV) de β é expresso por

$$\beta^{(m+1)} = \beta^{(m)} + (X^T W^{(m)} X)^{-1} X^T W^{(m)} z^{(m)}.$$

Colocando $(X^T W^{(m)} X)^{-1}$ em evidência tem-se, finalmente,

$$\beta^{(m+1)} = \beta^{(m)} + (X^T W^{(m)} X)^{-1} X^T W^{(m)} y^{*(m)},$$

onde $y^{*(m)}$ é uma variável resposta modificada denotada por

$$y^{*(m)} = X\beta^{(m)} + z^{(m)}.$$

Observa-se que cada iteração do método escore de Fisher corresponde a uma regressão ponderada da variável dependente modificada y^*sobre a matriz modelo X, com matriz de pesos W. Com isso, quanto maior for a variˆancia da observação, menor será seu peso no cálculo das estimativas dos parâmetros (CORDEIRO; LIMA NETO, 2009)

Interpretação dos parâmetros estimados

Em estudos epidemiológicos, utiliza-se para a análise de seus resultados, o risco relativo (RR). O valor dessa medida é gerada a partir de cálculos com o uso dos parâmetros estimados no modelo. Para o modelo de regressão de Poisson, a estimativa do risco relativo é dado por:

$$RR(x) = e^{\beta}.$$

Isto indica a magnitude do risco de adoecer entre os expostos comparados com os não expostos (TADANO; UGAYA; FRANCO, 2009).

Avaliação do Ajuste do Modelo

Após a modelagem estatística, devemos verificar se modelo ajustou bem o conjunto de dados, pois o modelo não apropriado pode levar a conclusões erradas. Para avaliar o ajuste do modelo, a análise residual constitui a principal ferramenta, pois através dela é possível observar se as suposições feitas para o modelo estão corretas e auxilia também na

identificação de observações extremas (outliers) com algumas interferências desproporcionais nos resultados do ajuste.

Os resíduos são importantes dentro da análise de diagnóstico, uma vez que eles ajudam a detectar observações discrepantes que merecem uma análise mais detalhada. Os resíduos para Cox e Snell (1968), devem expressar uma discrepância entre a observação y_i e o seu valor ajustado $\hat{\mu}_i$, sendo dado por:

$$R_i = h_i(y_i, \hat{\mu}_i),$$

onde h_i é conhecida e de fácil interpretação.

Nos modelos lineares generalizados, tem-se o resíduo de Pearson expresso da seguinte forma

$$p_i = \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sqrt{\hat{V}_i}},$$

onde $\hat{\mu}_i$ e $\hat{V}_i$ são a média ajustada e a função de variância ajustada de y_i, respectivamente (CORDEIRO; PAULA, 1989).

Dentre as medidas de diagnóstico utilizadas para avaliar o ajuste do modelo, temos o **coeficiente de determinação ajustado**, denominado "Pseudo" R^2 (R_p^2) que é similar ao coeficiente obtido nos modelos lineares clássicos. Esse coeficiente expressa o quanto o modelo explica a variabilidade total da variável resposta, e é defino por:

$$R_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{\mu}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2},$$

onde y_i são as observações esperadas e $\bar{y}$ é a média das observações.

O **Critério de Informação de Akaike (AIC)** foi desenvolvido através dos estimadores de máxima verossimilhança (EMV), para decidir qual o modelo mais adequado quando se utiliza muitos modelos com quantidades diferentes de parâmetros, isto é, selecionar um modelo que esteja bem ajustado com um número reduzido de parâmetros. O critério de AIC foi o primeiro baseado na informação de Kullback-Leibler (K-L) e assintoticamente não viesado para K-L. O critério AIC supõe que o modelo verdadeiro pertence ao conjunto de modelos candidatos. Sendo

$$AIC = -2l(\hat{\mu}, \widehat{\emptyset}) + 2(k+1)$$

onde $l(\hat{\pi}, \widehat{\emptyset})$ é a função de máxima verossimilhança do modelo ajustado e k o número de parâmetros do modelo. A decisão da escolha do melhor modelo ajustado é de acordo com o menor valor de AIC (RAO; WU, 2005).

A **adequação da função de ligação** é verificada, de forma informal, através do gráfico entre a variável dependente y^* e $\hat{\eta}$. Se o gráfico for aproximadamente linear, a função de ligação estará correta (CORDEIRO; LIMA NETO, 2004).

A **função de variância** por sua vez**,** é verifica através do gráfico dos resíduos versus valores ajustados pelo modelo. Segundo Baxter et al. (1997), a função de variância estará adequada, caso os pontos, no gráfico, apresentem dispersos sem tendência (local ou global).

Marciano (2009) analisa que o **gráfico normal de probabilidade (Q-Q plot)** destaca-se por dois aspectos: a identificação da distribuição originária dos dados e a identificação de valores que se destacam no conjunto de observações. Através do gráfico de Q-Q plot do quantis amostrais versus quantis teóricos é possível verificar se a suposição sobre a distribuição da componente sistemática está sendo violada.

Na análise de influência em modelos de regressão, a identificação de **pontos de alavanca** constitui um componente importante e essa terminologia deve-se ao fato de que esses pontos exercem uma influência desproporcional nas estimativas dos parâmetros do modelo. A alavanca generalizada é medida através dos elementos h_{ii} da matriz H que é conhecida como matriz de projeção, definida por

$$H = \widehat{W}^{1/2} X (X^{\mathrm{T}} \widehat{W} X)^{-1} X^{T} \widehat{W}^{1/2}$$

onde $\widehat{W}$ é o valor de W em $\hat{\beta}$ (PAULA, 2004).

Segundo Cordeiro e Lima Neto (2004) no modelo de regressão é fundamental conhecer o grau de dependência entre o modelo ajustado e o vetor de observações y. Será preocupante se pequenas perturbações nestas observações produzirem mudanças bruscas nas estimativas dos parâmetros do modelo. Entretanto, se tais observações não alterarem os principais resultados do ajustamento, pode-se confiar mais no modelo proposto, mesmo desconhecendo o verdadeiro processo que descreve o fenômeno em estudo. As técnicas mais conhecidas para detectar esse tipo de influência são baseadas na exclusão de uma única observação e procuram medir o impacto dessa perturbação nas estimativas dos parâmetros. A

distância de Cook encontra-se entre as medidas de diagnóstico utilizada na avaliação do grau de dependência entre $\hat{\beta}$ e cada uma das observações, definida por

$$D_i = \frac{h_{ii}}{p(1-h_{ii})} r_{Pi}^{*^2},$$

onde p é o posto da matriz modelo X e $r_{Pi}^{*} = \frac{(y_{i-}\hat{\mu}_i)}{\sqrt{V(\hat{\mu}_i)(1-h_{ii})}}$ é o resíduo de Pearson padronizado.

A **distância de Cook** originalmente desenvolvida para modelos normais lineares foi rapidamente assimilada e estendida para diversas classes de modelos. Porém, em 1986, Cook apresentou a proposta mais inovadora na área de diagnóstico em regressão, que propunha avaliar a influência conjunta das observações sob pequenas mudanças (perturbações) no modelo ou nos dados, ao invés da avaliação pela retira individual ou conjunta de pontos. Essa metodologia foi denominada de influência local (PAULA, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE ESTUDO

Trata-se de uma pesquisa epidemiológica não-experimental, do tipo ecológica, descritiva, analítica e inferencial, desenvolvida a partir de abordagens quantitativa e qualitativa, a qual permitiu generalizar alguns dados e aprofundar o conhecimento sobre fenômenos e/ou conceitos.

Segundo Castro et al. (2003), estudos epidemiológicos com distintas abordagens têm sido utilizados com o objetivo de se observar a associação entre a exposição à poluição atmosférica e seus efeitos na saúde, permitindo dessa forma, avaliar como o contexto social e ambiental estão afetando a saúde de grupos populacionais, pois as medidas coletadas no nível individual seriam incapazes de refletir adequadamente os processos que ocorrem no nível coletivo.

3.2 CENÁRIO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida no município de Salvador, capital do estado da Bahia, localizado na latitude 12º58'16" S e longitude 38º30'39" W. Com 2.675.656 milhões de habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2010), Salvador é a terceira cidade mais populosa do país e a sexta região metropolitana brasileira, com quase 3,3 milhões de habitantes. A figura 02 apresenta a localização de Salvador no Estado da Bahia

Sua escolha, como cenário de pesquisa para o desenvolvimento desse estudo, se deu pelo fato de que, além de possuir a quarta maior frota de veículos do país e sabermos que os veículos automotores são responsáveis por grande parte da degradação do ar nos grandes centros urbanos, Salvador é a única cidade na região nordeste que realiza o monitoramento da qualidade do ar, permitindo assim, a realização de estudos sobre o impacto da poluição atmosférica na saúde humana através das informações dos níveis de concentrações dos principais poluentes lançados no meio ambiente. Outro ponto que devemos resaltar é que como o monitoramento do ar em Salvador é recente, com início em novembro de 2010, ainda não foram realizados estudos com essas informações tendo como fim encontrar a associação entre os níveis de poluição atmosférica e os problemas de saúde.

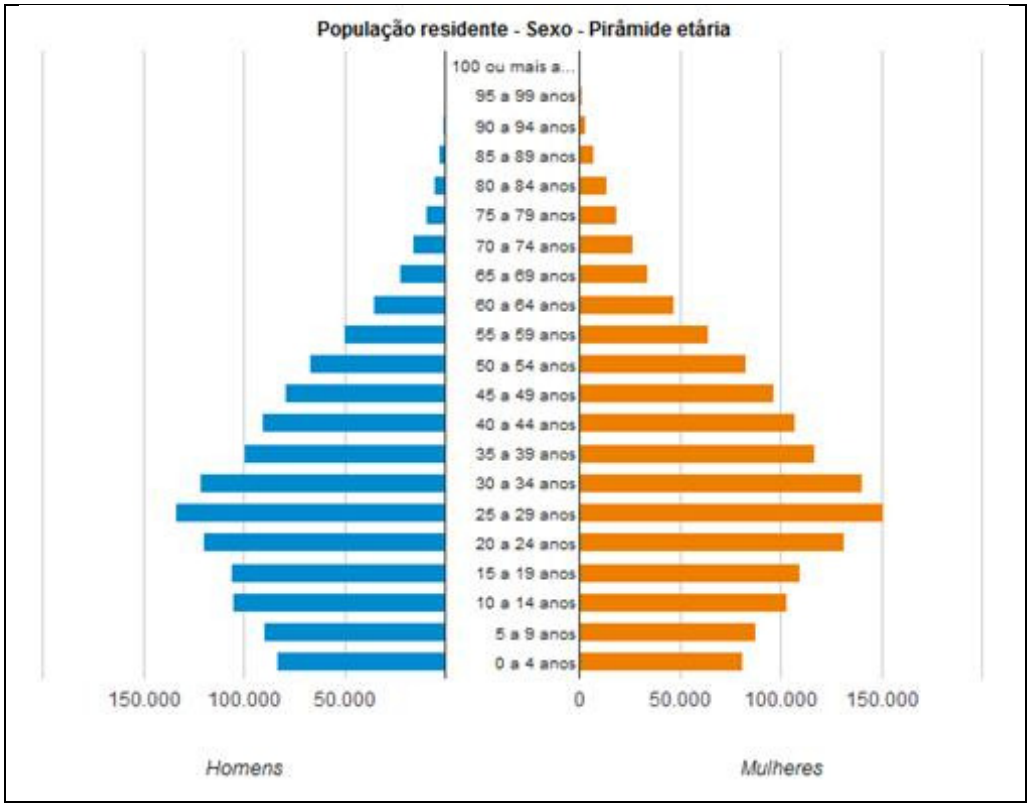
Figura 02 - Mapa do estado da Bahia com destaque para a localização dos principais municípios

Município de Salvador
Fonte: http://www.viagemdeferias.com/salvador/bahia/mapa.php

A região metropolitana de Salvador (RMS) é composta por dez municípios, sendo Salvador, o centro dela. Além da capital, a RMS inclui: Camaçari, Candeias, Dias D'avila, Itaparica, Lauro de Freitas, Madre de Deus, São Francisco do Conde, Simões Filho e Vera Cruz.

Os quase 3,3 milhões de habitantes do município de Salvador estão distribuídos em uma área peninsular de 693,292 Km^2, cuja altitude alcança os 100 m. De acordo com dados disponibilizados no último Censo realizado em 2010, a faixa etária do município distribui-se da seguinte maneira:

Gráfico 01 - População residente/sexo



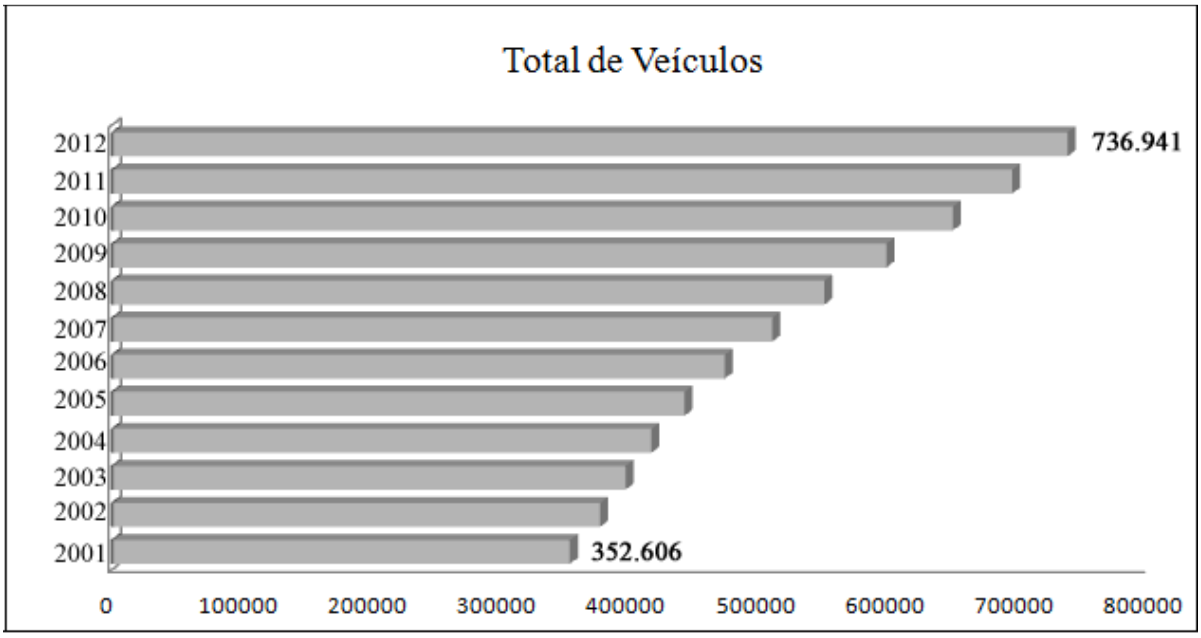
Fonte: IBGE, Censo 2010

A cidade cresceu lentamente durante mais de quatro séculos, concentrando suas atividades ao sul da península e a partir da década de 1970, a cidade expandiu-se para o norte, ocupando intensivamente o território municipal, reduzindo significativamente a vegetação e resultando em densidades mais altas ao sul. Com clima quente e úmido, Salvador é uma cidade tipicamente tropical, com cerca de 2.466 h anuais de sol, ventilada (ventos anuais com velocidade média de 2,2 m/s) e uma temperatura média anual de 25 ºC (PORTELLA, 2008). É considerada uma das cidades mais ensolaradas do mundo, com umidade média anual da ordem de 81%, tendo a vantagem de ser cercada pelo mar em 3 de seus lados. Estas condições climáticas são ideais para a atração turística.

Atualmente, entre as 12 principais cidades brasileiras, Salvador ocupa o 8º. lugar em Índice de Desenvolvimento Humano - IDH, e possui um dos maiores índices de desempregos do pais, atualmente 16,3% da população soteropolitana não possui emprego (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento- PNUD/ONU – 2004), situação de desigualdade social que se manifesta nas formas de apropriação da cidade e nas próprias figurações da pobreza.

Tomando por base dados disponibilizados no sítio do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN, em onze anos, a evolução da frota de veículos automotores no município de Salvador dobrou, passando de 352.606, em 2001, para 736.941, em 2012, o que representa um acréscimo de aproximadamente 109%. O gráfico 02 demonstra a evolução da frota de veículos, ano a ano.

Gráfico 02 - Crescimento da frota de veículos em Salvador 2001-2012



Fonte: DENATRAN/2012

3.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DOS DADOS

A investigação da associação entre a exposição a poluição do ar e o número de internações por doenças respiratórias, no município de Salvador, foi realizada utilizando-se um desenho ecológico a partir de informações secundárias de internações hospitalares, coletados junto ao Departamento de Informações do Sistema Único de Saúde – DATASUS, do Ministério da Saúde, referentes aos número de internações por problemas respiratórios, relacionados no Código Internacional de Doenças – CID 10 e pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA e a empresa Cetrel para as informações acerca do monitoramento dos principais poluentes atmosféricos. Alguns parâmetros meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar também foram levadas em consideração nesse estudo, pois eles afetam diretamente o conforto térmico humano e também a forma de como

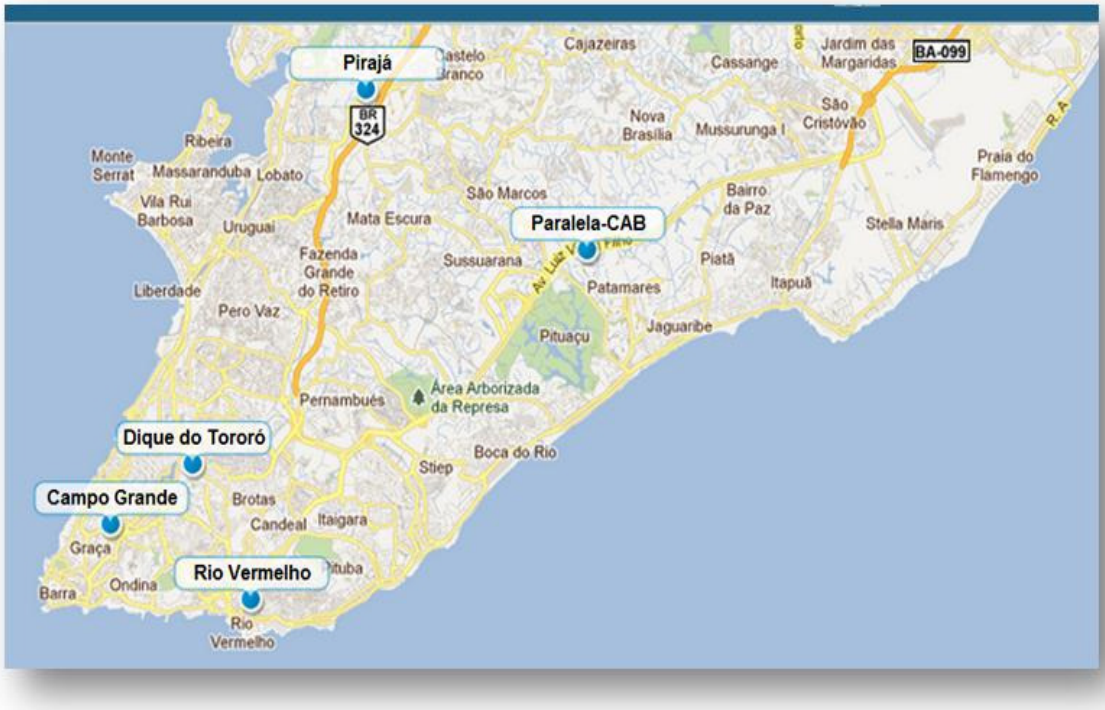
os poluentes se comportam no ar, visto que esses parâmetros podem favorecer ou não a dispersão dos poluentes em uma determinada região. Os valores das medições diárias para a temperatura e umidade relativa do ar na cidade de Salvador foram obtidos através das estações de monitoramento do ar da empresa Cetrel.

A variável resposta, que constitui uma contagem de eventos, é o número de internações por doenças respiratórias, agrupados mensalmente durante o período de novembro de 2010 a agosto de 2012. Foram observadas nesse estudo, as populações mais suscetíveis, que são crianças e idosos. Segundo Nishioka et al. (2000) diversas faixas etárias tornaram-se alvos de pesquisas científicas relacionados ao assunto. Porém, foi dada uma maior atenção aos idosos e as crianças, uma vez que as pessoas dessas faixas etárias parecem ser mais suscetíveis à poluição atmosférica desde as primeiras pesquisas. As faixas etárias consideradas nesse estudo foram crianças com idade de até 09 anos e idosos com idade igual ou superior a 65 anos.

Os dados ambientais (MP_{10}, SO_2, NO_2, O_3, CO) e meteorológicos (temperatura e umidade relativa do ar) são as variáveis explicativas. As concentrações dos poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos têm medições diárias nas estações de monitoramento automáticas de Salvador.

A estimativa média da exposição diária da população de Salvador à poluição atmosférica foi obtida a partir das médias aritméticas das concentrações dos poluentes monitorados pela rede de monitoramento da qualidade do ar. Essas informações são divulgadas e continuamente atualizadas no endereço eletrônico da Cetrel (http://www.cetrel.com.br/). A rede é composta por cinco (05) estações fixas e automáticas de amostragem que monitoram cinco (05) diferentes pontos da cidade conforme observamos na figura 03.

Figura 03 - Mapa da cidade de Salvador, com a localização das cinco estações de monitoramento automática. Estações automáticas: Pirajá, Paralela-CAB, Dique do Tororó, Campo Grande e Rio Vermelho



Fonte: **http://www.cetrel.com.br/**

Para o ajuste dos dados em relação aos parâmetros meteorológicos, foram calculadas as médias aritméticas das medidas de umidade e temperatura, como também o valor mínimo e máximo registradas pela rede de monitoramento de Salvador. Tanto os dados de monitoramento dos poluentes como dos parâmetros meteorológicos foram obtidos pelas estações de monitoramento da empresa Cetrel.

Cada estação de monitoramento possui instrumentos que coletam dados sobre poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos. As estações que compõem essa rede medem os seguintes parâmetros: material particulado (MP_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), óxido de nitrogênio (NO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), umidade relativa do ar, temperatura, velocidade do vento, direção do vento, pressão atmosférica e radiação, como mostra o quadro 05. Como as estações fixas monitoram de forma automática, contínua e online, é possível então acompanhar a qualidade do ar e os parâmetros meteorológicos em tempo real.

Quadro 05 - Estações de monitoramento e os parâmetros monitorados

Nº	Ponto de monitoramento	Poluentes					Parâmetros meteorológicos
	Estações	MP	SO_2	NO_x	CO	O_3	
01	Pirajá	X	X	X	X	X	X
02	Paralela	X	X	X	X	X	X
03	Dique do Tororó	X	X	X	X	X	X
04	Campo Grande	X	X	X	X	X	X
05	Rio Vermelho	X	X	X	X	X	X

Essas estações fixas da Rede Automática de Monitoramento operam com analisadores que fazem a coleta e análise dos poluentes e fatores meteorológicos simultaneamente. Os resultados são armazenados por um sistema computadorizado, obtendo-se as médias horárias dos poluentes. Estas são transmitidas para a central de telemetria e armazenadas em servidor de banco de dados, onde passam por um processo de avaliação técnica periódica e, posteriormente, são disponibilizadas de hora em hora no endereço eletrônico da Cetrel.

Como fonte de coleta de dados das concentrações dos poluentes e parâmetros meteorológicos para esse estudo, decidiu-se pela utilização dos dados da estação automática de monitoramento da Av. Paralela, por esta apresentar informações mais completas e por localizar-se numa região central da cidade de Salvador.

Os analisadores contínuo utilizados nas estações de monitoramento de Salvador são da marca francesa Environnement S.A., mas existem várias metodologias e analisadores que foram desenvolvidos para detectar a quantidade de material particulado e gases tóxicos presentes na atmosfera. Para o processo contínuo de medições para as **partículas inaláveis (MP_{10})**, nas estações de monitoramento de Salvador, utilizou-se o "Princípio da Atenuação Beta", sistema mais avançado de monitoramento de partículas. Nele, as partículas contidas na atmosfera são depositadas numa fita filtrante de fibra de vidro. As partículas betas são emitidas por uma fonte e passam através do filtro e da camada de partículas depositadas. À medida que aumenta a massa de partículas depositadas, a diminuição na medição dos raios beta na câmara de medição é constatada. Uma câmara de compensação recebe uma porção igual de partículas beta, utilizada como referência, comparando a medição da amostra coletada na câmara de medição com a energia transmitida através de uma lâmina de compensação, a qual apresenta a mesma atenuação que um filtro limpo. À medida que as

partículas são coletadas e depositadas no filtro, a leitura diferencial muda e o sinal resultante é convertido pelo microprocessador do sistema de concentração das partículas inaláveis (LYRA, 2008).

Com relação ao **dióxido de enxofre (SO_2)** a metodologia recomendada para monitoramento contínuo é a florescência, que consiste num processo fotoluminescente em que o SO_2 passa por uma câmara preta na qual as moléculas do ar são iluminadas por uma luz com comprimento de onda específico, e, somente as moléculas de SO_2 absorvem a luz em forma de energia. Após um curtíssimo espaço de tempo, esta luz é interrompida e as moléculas de SO_2 emitem luz, que é detectada por um tubo fotomultiplicador. Este aparelho então emite um sinal, quase instantâneo, diretamente proporcional à concentração das moléculas de SO_2 existentes no interior da câmara de reação. Este sinal é convertido e processado eletronicamente fornecendo o resultado em unidades de concentração, que pode ser ppm, ppb ou mg/m^3 (LYRA, 2008).

Os analisadores para medições dos **óxidos de nitrogênio (NO_x)** adotam a metodologia quimioluminescente, que se baseia no princípio físico-químico em que reação química entre o NO e O_3 produz comprimentos de ondas superiores aos 600 nm.

Para o **monóxido de carbono (CO),** utiliza-se a metodologia Infra Vermelho não Dispersivo (NDIR), cujo princípio baseia-se na absorção de luz pela molécula em questão, em um determinado comprimento de onda, na região infravermelha, chamado de espectrofotômetros (ABREU; MELO, 1997). Nesse processo, o ar succionado através de uma bomba, instalado no interior do monitor de CO, passa pela câmara que possui em um dos seus extremos uma fonte controlada de radiação infravermelha, lançando um feixe no sentido do outro extremo, no qual uma célula detectora de alta sensibilidade capta o comprimento de onda emitida pela fonte.

A faixa do infravermelho escolhida é aquela em que o monóxido de carbono absorve a luz. Assim, quando o feixe percorre a câmara com ar, a intensidade da luz lançada será maior do que a intensidade da luz que atinge a célula detectora, pois uma parte da luz foi absorvida pelas moléculas de CO, presentes na câmara. Dessa forma, a quantidade de radiação infravermelha absorvida será diretamente proporcional à concentração do CO existente na amostra de ar, de modo que, quanto menor a luz detectada pela célula, maior será a concentração do monóxido de carbono medido (LYRA, 2008).

Com relação ao **ozônio (O_3)**, utiliza-se a fotometria no ultravioleta como metodologia, considerada a mais moderna e segura. Esse método determina a concentração do ozônio por meio de medições da atenuação da luz em uma célula de absorção no comprimento de onda

de 254 nm, cuja concentração desse poluente está diretamente relacionada com a magnitude dessa atenuação.

A precisão e exatidão dos dados obtidos pelos analisadores em relação a cada poluente dependerão da manutenção preventiva realizadas nesses equipamentos. Para isso, a empresa Cetrel realiza mensalmente, conforme procedimentos elaborados a partir dos manuais de operação dos equipamentos da rede de monitoramento, calibração dos analisadores, bem como, manutenção anual em toda a rede, objetivando verificar todos os itens específicos dos analisadores.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A variável dependente foi o número de internações por doenças no aparelho respiratório e as concentrações dos poluentes de origem veicular e fatores meteorológicos foram as variáveis explicativas. Como as medições dos poluentes e fatores meteorológicos são diárias, foi necessário calcular a média mensal referente ao mesmo período dos registros de internações por doenças do aparelho respiratório fornecidos pelo DATASUS, uma vez que essas são agrupas por mês.

Inicialmente foi realizada uma análise descritiva, utilizando medidas de tendência central e de dispersão, como média, mediana, desvio-padrão e coeficiente de correlação, além da utilização de gráficos e tabelas para melhor compreensão do fenômeno em questão. Além disso, foram contruídos gráficos de dispersão para observar o comportamento da variável resposta, além de analisar a relação entre algumas variáveis preditoras.

Após a analise descritiva, com a finalidade de estimar a associação dos fatores meteorológicos e poluentes atmosféricos de origem veicular em relação ao número de internações por doenças no aparelho respiratório nas populações de crianças ($\leq$ 9 anos) e idosos ($\geq$ 65 anos) de Salvador, utilizou-se alguns modelos matemático, tais como: modelo de regressão Beta, inverse gaussian e Poisson, com o auxílio do software R version 2.15.0. Dentre os modelos testados, o modelo de regressão de Poisson foi o que melhor se ajustou. A função de ligação utilizada foi a logaritmo e sua escolha recaiu sobre o modelo com menor AIC. As estimativas dos parâmetros para o modelo de regressão de Poisson foram interpretadas por meio do risco relativo (RR). O Intervalo de confiança para o risco relativo foi da seguinte forma:

$IC\ [(1-\alpha)\%] = \left[\exp\left(\hat{\beta} - z_{\frac{\alpha}{2}} ep(\hat{\beta})\right); \exp\left(\hat{\beta} + z_{\frac{\alpha}{2}} ep(\hat{\beta})\right)\right]$, onde ep representa o erro padrão da estimativa de β.

Em seguida, para validar o ajuste do modelo realizou-se à análise residual, que permiti verificar se as suposições feitas para o modelo foram válidas. Para tal análise, fez-se uso de um conjunto de critérios de adequação e ferramentas gráficas na avaliação da adequação do modelo aos dados (SANT'ANNA; CATEN, 2010). As principais ferramentas utilizadas nesse estudo para avaliar o ajuste do modelo foram: o Pseudo-R^2, Q-Q Plot, gráfico dos resíduos versus valores ajustados e gráfico dos valores observados da variável resposta em relação aos valores ajustados, gráfico de alavanca generalizada e da distância de Cook.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo apresentaremos os resultados obtidos nesse estudo e suas discussões. O estudo foi desenvolvido através do modelo de regressão de Poisson para estimar o nível de associação entre os principais poluentes atmosféricos de origem veicular e fatores meteorológicos em relação ao número de notificações por doenças no aparelho respiratório em crianças de 0 a 9 anos de idade e idosos com idade igual ou superior a 65 anos. Para melhor compreensão e sistematização da explanação, esse capítulo está dividido em duas seções: análise descritiva dos dados e análise do ajuste do modelo para a tomada de decisão.

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

4.1.1 Internações por doença no aparelho respiratório

Os valores referentes a internações na rede pública de saúde por doenças do aparelho respiratório, durante o período de estudo no município de Salvador, totalizaram 20.417 pacientes, dos quais 51,12% correspondem a casos de crianças com idade de 0 à 9 anos e 13,19% a idosos com idade igual ou superior a 65 anos (DATASUS, 2012). De acordo com a **Tabela 06**, 64,31% das internações por doenças do aparelho respiratório correspondem a crianças e idosos. Isso consiste no fato de que esses dois grupos são mais susceptíveis aos efeitos da poluição atmosférica.

Considerando apenas as aglomerações urbanas de caráter metropolitano, onde residem pouco mais de 60% de toda população urbana do Brasil, as doenças do aparelho respiratório, segundo Ojima e Nascimento (2006), representam a segunda maior causa de internação hospitalar. Destacam, ainda, que a maior parte dessas internações se dá em crianças entre 0 a 9 anos.

Apesar do número de internações por doenças no aparelho respiratório em crianças ocupar posição de destaque no município de Salvador, como mostra a tabela 06, salienta-se que uma parcela significativa desse grupo não foi registrada no banco de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – DATASUS, utilizado nessa pesquisa, pois muitas crianças com problemas respiratórios menos graves, como tosse, exacerbação de asma e entre outros, decorrentes dos níveis de poluição atmosférica, não necessitam de internação hospitalar e são atendidos pelos postos de saúde ou pronto socorro,

ou até mesmo necessitam, mas pela falta de vagas nas unidades hospitalares públicas não são internadas. Outro ponto também que merece destaque é que uma parcela do grupo não utiliza o serviço público de saúde por optar pelo serviço de saúde privado e por isso não foram contabilizados na pesquisa. Assim, apesar de expressivo o número de internações por problemas respiratórios em crianças e idosos, no município de Salvador, esse valor poderia ser ainda mais significativo.

Tabela 06 - Distribuição percentual de internações por doenças do aparelho respiratório em crianças e idosos da rede pública de saúde, em Salvador, Brasil, 2010-2012.

Ano (meses)	Internações por doenças do aparelho respiratório				
	Total	Crianças (≤ 9 anos)		idosos (≥ 65 anos)	
	n	n	%	n	%
2010 (11-12)	1.603	904	56,39	205	12,79
2011 (01-12)	11.056	5.715	51,69	1.628	14,73
2012 (01-08)	7.758	3.818	49,21	859	11,07
TOTAL	20.417	10.437	51,12	2.692	13,19

Fonte: DATASUS, 2012

A tabela 07 mostra a média, desvio padrão, mediana, valor mínimo e máximo para o número de internações mensais por doenças no aparelho respiratório em crianças e idosos no município de Salvador. No período de novembro de 2010 a agosto de 2012 foram internados por problemas no aparelho respiratório um total de 10.437 crianças (≤ 9anos) e 2.692 idosos (≥ 65 anos), distribuídos em 22 meses. O número máximo de internações por doenças no aparelho respiratório em crianças no período de estudo foi de 652 no mês de julho de 2011 e de 188 no mês de setembro de 2011 para idosos.

Tabela 07 - Estatística descritiva para as internações por doenças do aparelho respiratório em Salvador, Brasil, 2010-2012

Internações por mês – Morbidade Hospitalar do SUS (Lista morbidade CID-10)		
	Crianças (≤ 9 anos)	Idosos (≥ 65 anos)
Média (DP)	474.41 (107,83)	122.36 (25,60)
Mediana	481,5	122
Valor Mínimo	262	80
Valor Máximo	652	188

Fonte: DATASUS, 2012.

Os gráficos 03 e 04 apresentam a distribuição temporal do total de internações por doenças do aparelho respiratório em Salvador, no período de novembro de 2010 a setembro de 2012, para crianças (≤ 9 anos) e idosos (≥ 65 anos). Os dados referem-se aos números de internações ao longo dos meses.

O gráfico 03 apresenta uma comparação entre o número total de internações por doenças no aparelho respiratório para todas as faixas etárias e o número de internações por problemas respiratórios em crianças. Apesar das variações apresentadas, que são similares nos dois casos, observa-se através da linha de tendência linear às séries dos dados um aumento no total de internações, enquanto nos idosos como mostra no gráfico 04, uma tendência de estabilização.

Gráfico 03 - Variação mensal do número de internações por doenças no aparelho respiratório em crianças (≤ 9anos) no município de Salvador, de novembro de 2010 a setembro de 2012

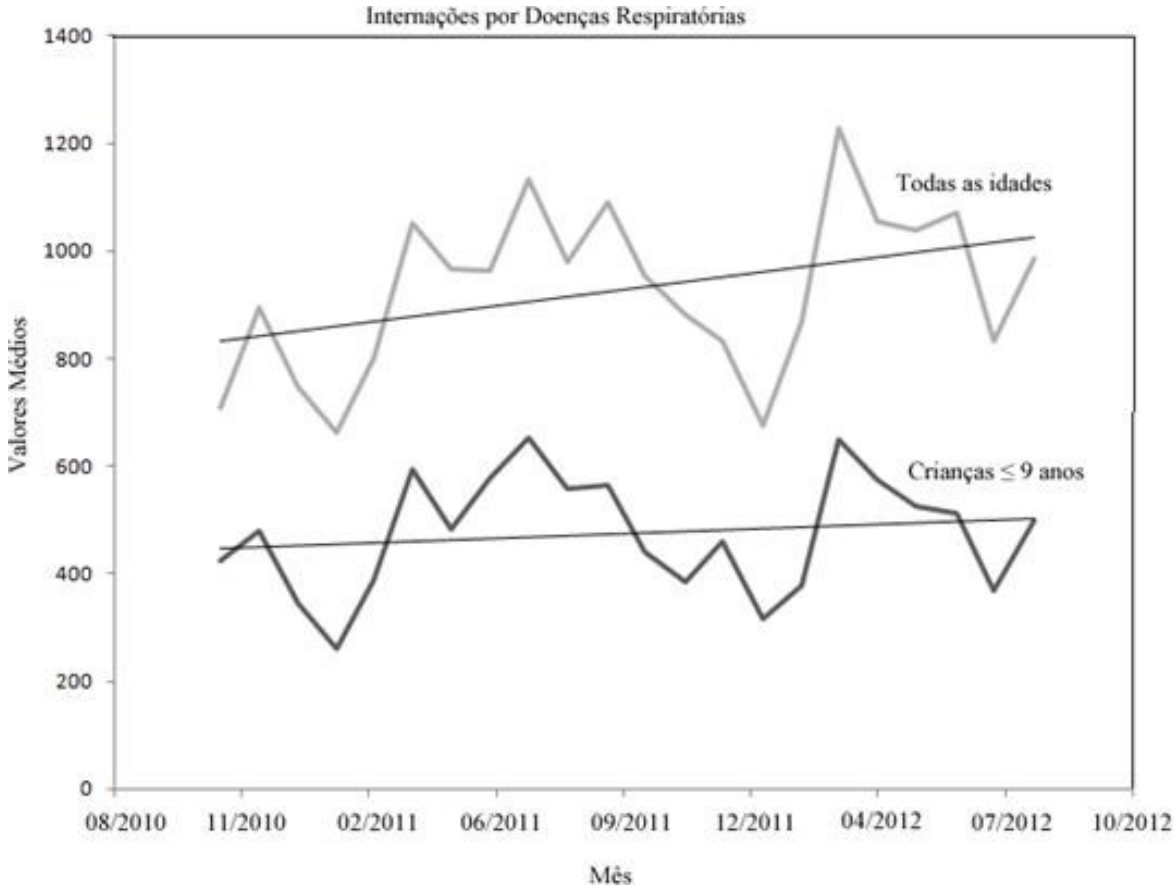
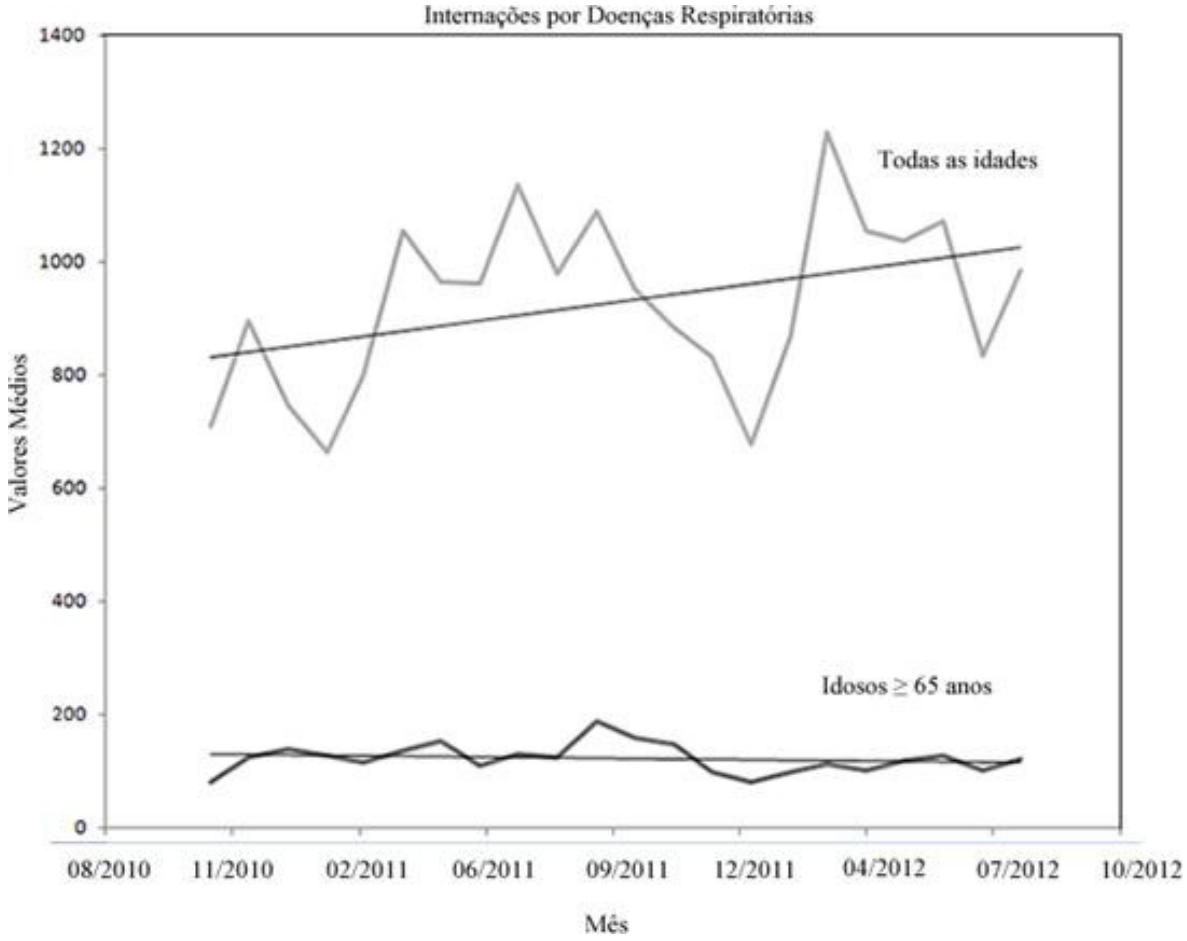


Gráfico 04 - Variação mensal do número de internações por doenças no aparelho respiratório em idosos (≥ 65 anos) no município de Salvador, de novembro de 2010 a setembro de 2012



4.1.2 Poluentes Atmosféricos

Nos últimos tempos foi possível verificar o aumento da preocupação da população nos grandes centros urbanos em relação aos efeitos que a poluição atmosférica vem causando à saúde humana. Vários estudos encontrados na literatura vêm mostrando cada vez mais a existência de associação entre poluição atmosférica e os problemas de saúde, mesmo em níveis considerados seguros pela legislação brasileira.

Para Braga et al. (2002), os estudos desenvolvidos em todo o mundo mostraram que não existem níveis de concentração de poluentes seguros para a saúde humana, e evidenciam cada vez mais que os atuais padrões de qualidade do ar do Brasil são inadequados para a proteção da população mais sensível à poluição (SALDIVA et al; 2002).

Através do monitoramento da qualidade do ar é possível verificar continuamente os níveis de concentração na atmosfera dos principais poluentes que afetam tanto ao meio ambiente como à saúde da humana. A **Tabela 08** apresenta a estatística descritiva das

medidas diárias dos principais poluentes atmosféricos, tais como material particulado (MP_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O_3). Nos gráficos de 05 a 09, estão representadas as séries originais das concentrações médias diárias para os principais poluentes atmosféricos monitorados pelo município de Salvador.

Tabela 08 - Estatística descritiva para os níveis de poluição em Salvador, Brasil, 2010-2012

Parâmetros	Nº de dias (Meses)	Média (DP)	Mediana	Valor Mínimo	Valor Máximo
MP_{10} (µg/m³)	670 (22)	27,53 (13,10)	24,99	10,71	116,90
SO_2 (µg/m³)	670 (22)	0,86 (0,83)	0,74	< 0,01	7,85
NO_2 (µg/m³)	670 (22)	22,29 (14,19)	20,70	< 0,01	137,38
CO (µg/m³)	670 (22)	546,35 (250,44)	541,01	< 0,01	2.644,95
O_3(µg/m³)	670 (22)	23,44 (9,08)	21,76	0,78	75,61

*valores menores que 0,009

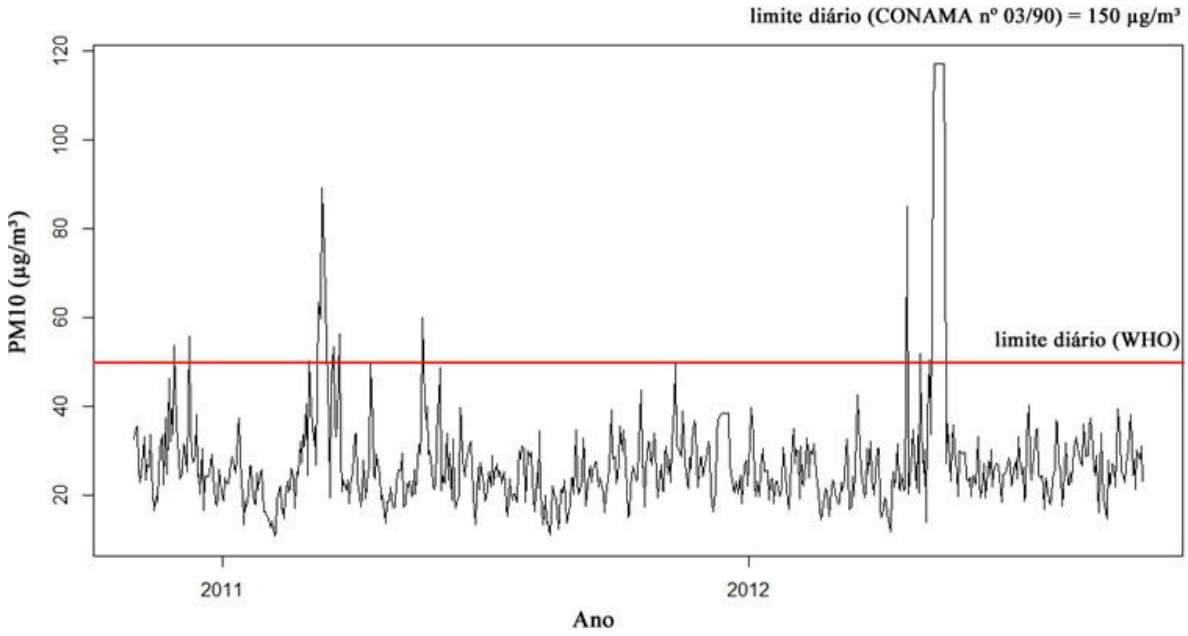
Material Particulado (MP_{10})

Os níveis de concentração do material particulado (MP_{10}) foram medidos no período de novembro de 2010 a agosto de 2012. De acordo com a tabela 08, observou-se que em Salvador a média da concentração desse poluente foi de 27,53 µg/m³ com valor máximo e mínimo de 116,90 e 10,71µg/m³, respectivamente.

A OMS prevê um limite máximo de 50 µg/m³ para o MP_{10} para um período de 24h, enquanto o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através da Resolução CONAMA nº 03/1990, de 150 µg/m³. O gráfico 05 apresenta a variação da concentração média diária para o MP_{10} para o período de estudo que corresponde a um total de 670 dias. Observa-se que, para o período de estudo, o material particulado não ultrapassou o limite máximo estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente em 1990. Mas de acordo com os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 2005, o material particulado (MP_{10}) ultrapassou, de novembro a dezembro de 2010, duas

(02) vezes o limite máximo, no ano de 2011 em dez (10) vezes e no período de janeiro a setembro de 2012 treze (13) vezes, como apresentado no gráfico 05.

Gráfico 05 - Variação da concentração média em 24 horas do material particulado MP_{10} (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012



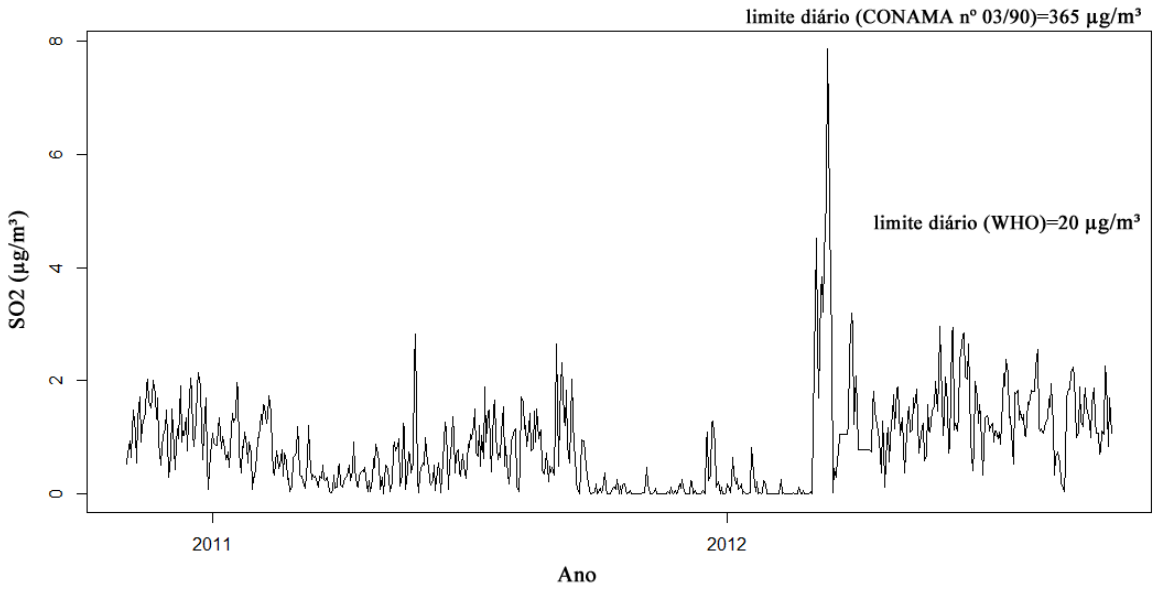
Analisando outras regiões do Brasil, de acordo com os dados disponibilizados no último relatório (2009) da qualidade do ar da região metropolitana do Rio de Janeiro, pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente – INEA, os valores máximos a curto prazo (24h) atingidos pelas estações de monitoramento variaram em torno de 75 a 200 µg/m³. Já na região metropolitana de São Paulo, que apresenta os maiores índices de poluição atmosférica no país, observou-se no relatório apresentado em 2011 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB que para o monitoramento a curto prazo os valores máximos para as 17 estações de monitoramento variaram entre 70 e 152 µg/m³, constatando também, que apenas uma estação ultrapassou o limite máximo previsto pela legislação brasileira e todas ultrapassaram o estabelecido pela Organização Mundial de Saúde.

Dióxido de Enxofre (SO_2)

Na análise do SO_2, verifica-se através da tabela 08 que o valor médio dos níveis de concentração para o período de estudo foi de 0,86 µg/m³. O gráfico 06 apresenta as séries temporais da concentração média diária do SO_2 para o período de novembro de 2010 a agosto de 2012 (679 dias). Através deste, observou-se pequenas variações nos níveis de concentração

do dióxido de enxofre (SO_2), que oscilou entre 0 e 2 µg/m³, merecendo destaque o mês de março de 2012 com picos chegando a 7,85 µg/m³. Segundo a OMS, o limite máximo para o SO_2 é de 20 µg/m³ em uma média de 24h, já a Resolução CONAMA 03/1990 estabelece um limite máximo de 365 µg/m³. De acordo com o gráfico 06, observou-se que esse poluente atendeu aos padrões primários e secundários previsto na legislação brasileira e nas diretrizes da OMS (2005) em todos os dias, no período de estudo.

Gráfico 06 - Variação da concentração média em 24 horas do dióxido de enxofre SO_2 (µg/m³) no município de Salvador entre novembro de 2010 a setembro de 2012



De acordo com o último relatório divulgado em 2009 pelo INEA para a região metropolitana do Rio de Janeiro, todas as estações monitoradas obedeceram ao limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990 para curtos períodos. Já não se pode afirmar o mesmo no que diz respeito à obediência ao nível máximo, também para curtos períodos, determinado pela OMS que é de apenas 20 µg/m³ se comparado aos 365 µg/m³ exigidos pela legislação brasileira.

De maneira similar, de acordo com os dados obtidos pelo relatório da CETESB de 2011, as estações de monitoramento da região metropolitana de São Paulo não ultrapassaram a média diária estabelecida pelo CONAMA e foram além do estabelecido pela OMS, como por exemplo, na estação de São Caetano do Sul que atingira 31 µg/m³.

Comparando os gráficos 04 e 06, verificou-se uma relação entre os níveis de concentração de dióxido de enxofre (SO_2) e internações por doenças respiratórias em crianças

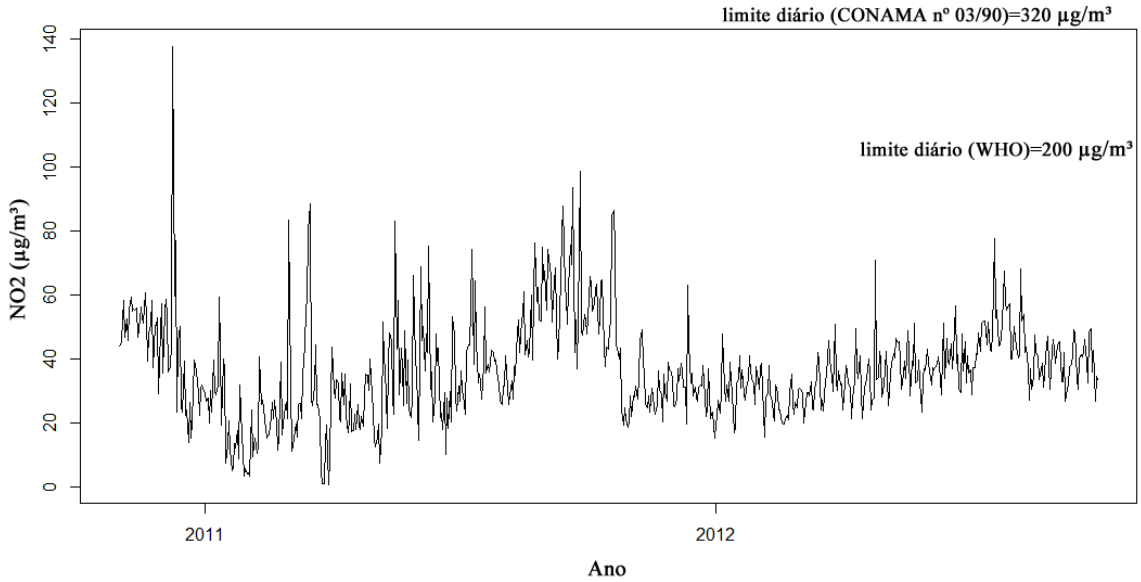
(≤ 9 anos). Constatou-se que os períodos de concentrações mais elevados desse poluente, coincidem com os períodos de maior incidência de problemas respiratórios em idosos.

Dióxido de Nitrogênio (NO_2)

A tabela 08 apresenta a estatística descritiva do NO_2. É possível verificar que o valor médio mensal da concentração dióxido de nitrogênio foi de 22,29 µg/m³, com valores variando entre 0,00 e 137,38 µg/m³.

A Organização Mundial de Saúde recomenda um limite máximo para o NO_2 de 200 µg/m³ e a legislação brasileira, 320 µg/m³. Através das séries médias diárias do NO_2 apresentadas no gráfico 07, observou-se que os níveis do dióxido de nitrogênio, permaneceram dentro do limite previsto pela Resolução CONAMA nº 03/1990. Percebeu-se, através deste gráfico, que os níveis de concentração do dióxido de nitrogênio (NO_2) apresentaram um padrão sazonal, com maiores valores nos meses de julho a outubro de 2011, que corresponde ao período de inverno (SALVADOR, 2010).

Gráfico 07 - Variação da concentração média em 24 horas do dióxido de nitrogênio NO_2 (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012



Na região metropolitana do Rio de Janeiro, todas as estações mantiveram-se abaixo do determinado pelo CONAMA e, destas, apenas duas estações ultrapassaram o limite de 200 µg/m³ determinado pela OMS. A região metropolitana de São Paulo, por sua vez, manteve todas suas estações abaixo dos níveis exigidos tanto pelo CONAMA como pela OMS.

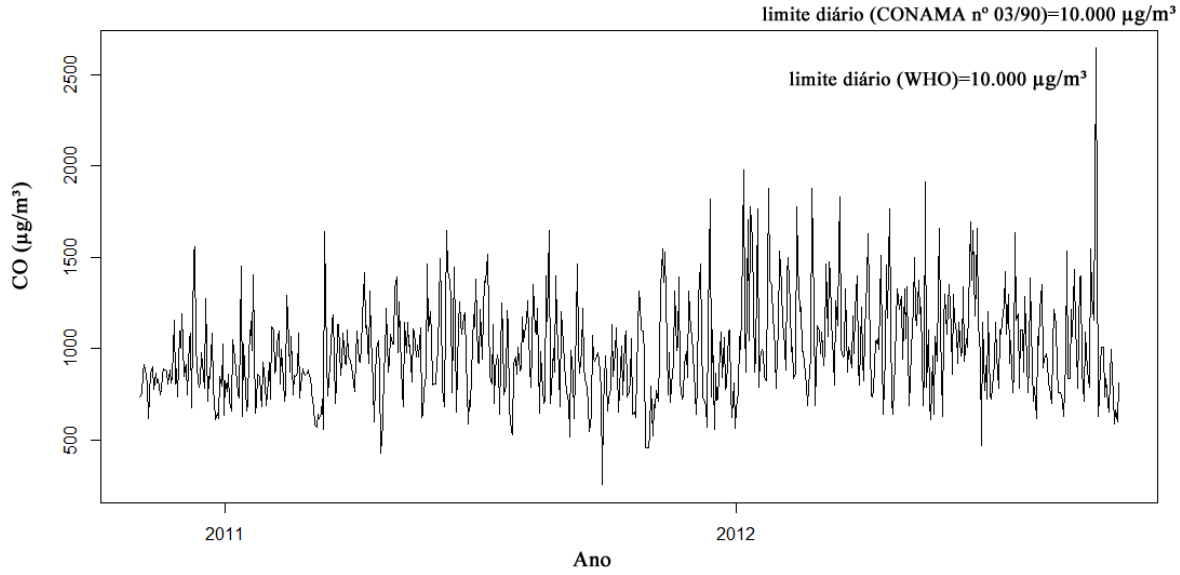
Analisando os gráficos 03 e 07 é possível verificar indícios de uma relação entre a concentração de NO_2 e internações por doenças respiratórias em crianças. Confrontando os dois gráficos, verificou-se que o aumento dos níveis de concentração do dióxido de nitrogênio coincidiu com o aumento de internações em crianças com problemas respiratórios.

Monóxido de Carbono (CO)

Como apresentado na tabela 08, o monóxido de carbono (CO) apresenta uma grande variabilidade nos valores das concentrações, oscilando entre o mínimo de 0,00 µg/m³ e máximo 2.644,95 µg/m³, com valor médio de 546,35 µg/m³.

Através do gráfico de séries temporais para esse poluente (**Gráfico 08**), verificou-se que as concentrações do CO em Salvador no período mensurado atendem aos padrões de qualidade do ar previsto na Resolução CONAMA nº 03/1990.

Gráfico 08 - Variação da concentração média em 24 horas do monóxido de carbono CO (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012



Analogamente, as regiões metropolitanas do Rio de Janeiro (2009) e de São Paulo (2011) também seguem o respeito aos padrões previstos na resolução supracitada acompanhando o comportamento do município de Salvador (2010-2012) com relação a este poluente.

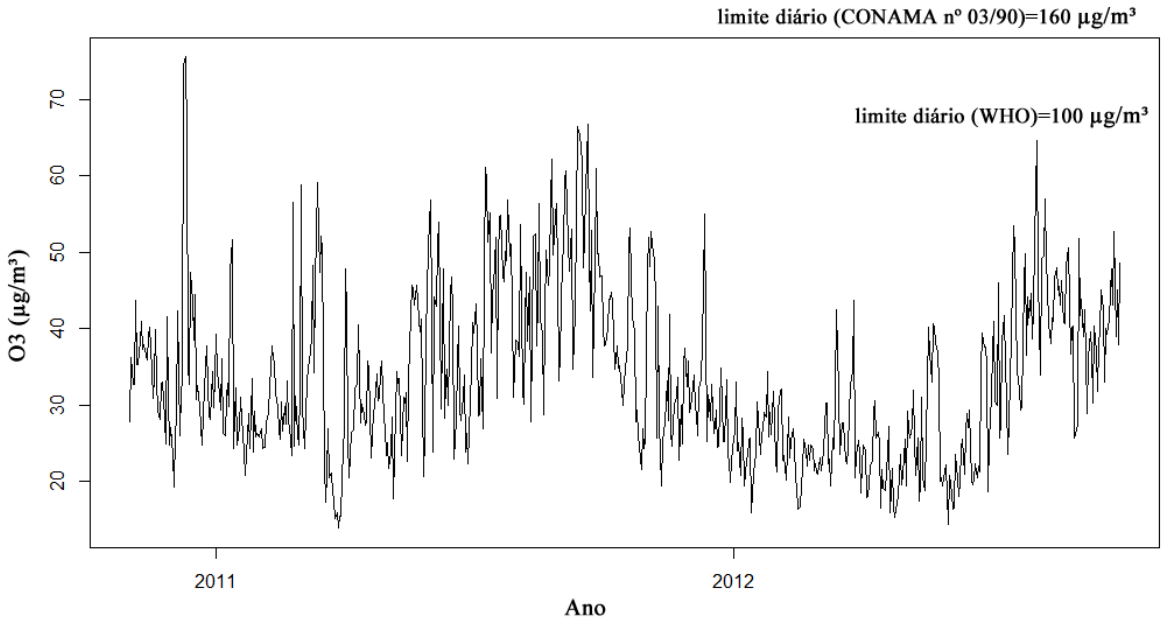
Analisando o gráfico 08 em relação a variação mensal do número de internações por doenças no aparelho respiratório em crianças e idosos, representados respectivamente nos

gráficos 03 e 04, não foi possível verificar indícios de uma relação entre os índices de concentração de CO e esses dois grupos. Porém, devemos destacar que os problemas respiratórios decorrentes da poluição atmosférica dependem não apenas dos níveis de concentração dos poluentes, mas também do tempo de exposição de cada indivíduo.

Ozônio (O_3)

No que diz respeito ao o ozônio (O_3), observou-se através da tabela 08 que o valor médio mensal de sua concentração foi de 23,44 µg/m³, com desvio padrão de 9,08 µg/m³. Os valores máximo e mínimo variaram entre 0,78 e 75,61 µg/m³. Através das informações na tabela 08 e do gráfico de séries temporais (gráfico 09) é possível verificar que o O_3 não ultrapassou os padrões de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA nº 03/1990. Percebeu-se nas séries abaixo que o ozônio (O_3) apresentou um comportamento sazonal, com maiores valores nos meses de julho a outubro que corresponde ao período de inverno. Segundo Martins et al. (2006), já foi constatado que na cidade de São Paulo em 1998 houve um inverno muito quente, o que propiciou a formação do ozônio, fazendo com que naquela época ele fosse o único poluente a ultrapassar o limite permitido pela legislação brasileira.

Gráfico 09 - Variação da concentração média em 24 horas do ozônio O_3 (µg/m³) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012



Diferentemente do encontrado em Salvador, verificou-se que em São Paulo, através do relatório de qualidade do ar lançado pela Cetesb (2011), o ozônio ultrapassou em 96 vezes o limite máximo previsto na legislação brasileira que é de 160 µg/m³. De forma similar também ultrapassou, em alguns dias, segundo o relatório apresentado pelo INEA (2009), o limite previsto pela legislação brasileira.

Comparando os gráficos 04 e 09, é possível verificar uma relação entre os níveis concentração de O_3 e as internações por problemas respiratórios em idosos. O mês de dezembro de 2010 apresenta um pico mais elevado de concentração do ozônio que pode ser observado com um leve aumento no número de internações em idosos. Em 2011 e 2012, percebe-se um aumento da concentração desse poluente nos meses de julho a outubro, que pode ser visto no gráfico 04, com o aumento de doenças respiratórias em idosos nos meses de agosto a outubro de 2011.

4.1.3 Parâmetros Meteorológicos

A tabela 09 apresenta a estatística descritiva para a temperatura e umidade relativa do ar com os valores de médica, desvio padrão, mediana, valor mínimo e máximo para o período de novembro de 2010 a agosto de 2012.

Tabela 09 - Estatística descritiva para as variáveis meteorológicas em Salvador, Brasil, 2010-2012

Parâmetros	Nº de dias (Meses)	Média (DP)	Mediana	Valor Mínimo	Valor Máximo
Temperatura (ºC)	670 (22)	25,79 (1,44)	25,91	21,70	28,90
Umidade Relativa (%)	670 (22)	76,23 (6,08)	75,71	59,96	95,30

Com relação à temperatura média mensal para o período de estudo, observou-se uma variação entre 23,90ºC e 28,16 ºC alcançando uma média mensal de 25,85 ºC. A umidade relativa do ar oscilou entre 71,21% e 84,21%.

Os gráficos 10 e 11 apresentam as séries temporais para a temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, para o município de Salvador no período de novembro de 2010 a setembro de 2012. Com relação à temperatura média diária, através do **Gráfico 10** é possível perceber claramente que seus valores são mais elevados nos primeiros meses do ano,

correspondente ao período de verão, e mais baixas nos meses de julho a setembro, que representa o período de inverno.

Observando os gráficos 03 e 10, constatamos uma relação bastante forte entre o número de internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 9 anos) e a temperatura média diária. É possível perceber que os períodos de temperatura mais baixa coincidem com o aumento de casos de internações por problemas respiratórios em crianças. Para Bakonyi et al. (2004), aumento da incidência de doenças respiratórias no período de inverno, deve-se ao fato de que baixas temperaturas desfavorecem a dispersão dos poluentes, gerando como consequência o aumento nas concentrações destes.

Gráfico 10 - Temperatura média diária (ºC) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012

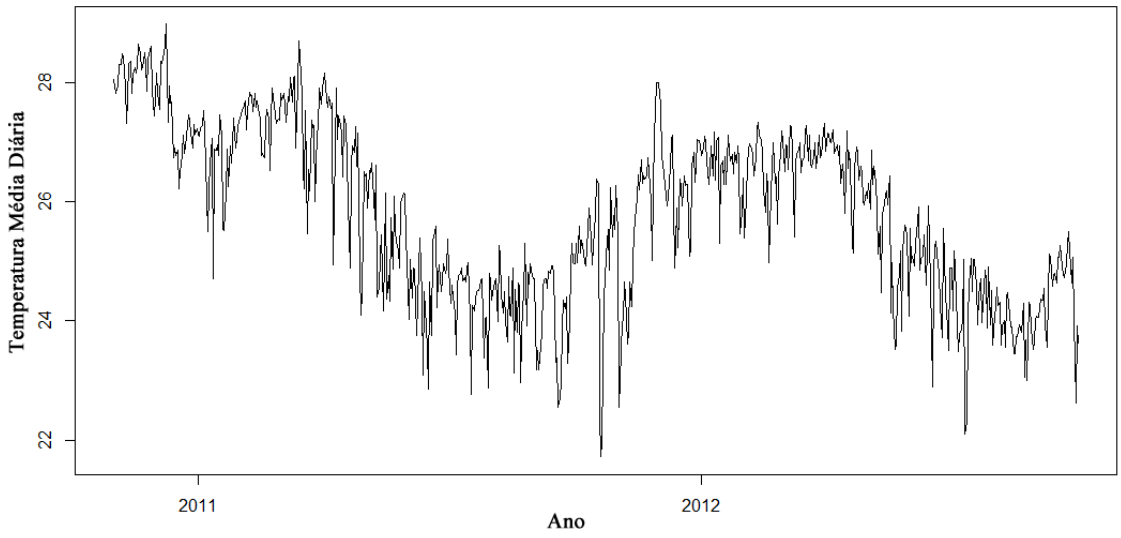
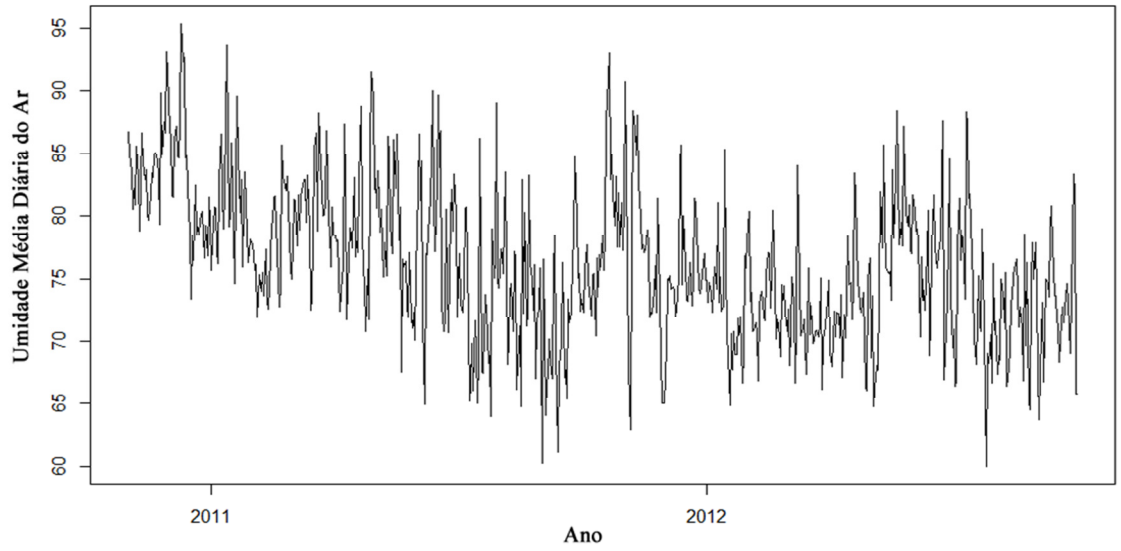


Gráfico 11 - Umidade média diária do ar (%) no município de Salvador, novembro de 2010 a setembro de 2012



Apesar de Salvador ser considerada uma cidade quente com temperatura média anual entorno dos 25 ºC, através do gráfico de séries temporais (**Gráfico 10**) é possível observar que para o período de estudo, que a umidade relativa do ar foi elevada com valores variando entre 59,96 e 95,30 %.

4.2 ANÁLISE DO AJUSTE DO MODELO

Nesta subseção, apresentamos a análise do ajuste do modelo de regressão de Poisson aos dados do estudo. A metodologia adotada nessa pesquisa é semelhante aos adotados em outros estudos tanto a nível nacional como internacional. Para investigar em sua dissertação os efeitos da poluição atmosférica na morbidade por gripe e pneumonia na população idosa no município de São Paulo, Martins et al., em 2002, utilizou como método o modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson. Nascimento et al., em 2006, estimou a associação entre internações por pneumonia e a poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos - SP, utilizando modelos aditivos generalizados. De forma semelhante, Moura et al. (2008) investigou a relação entre poluição do ar e transtornos respiratórios agudos em crianças, através de regressão de Poisson via modelos aditivos generalizados. Katsouyanni et al. (1996) utilizou o modelo de regressão de Poisson como metodologia na análise do projeto Air Pollution and Health: A European Approach – APHEA. Com intuito de estimar o nível de associação entre poluição do ar e consultas diárias em clínica geral por queixa de rinite e alergia em Londres, Reino Unido, Hajat et al. (2001), utilizou em seu trabalho o modelo de regressão de Poisson.

As variáveis independentes em um estudo de modelagem só devem ser adicionadas no modelo se apresentarem sobre o comportamento da variável explicativa um nível exploratório significativo. No presente trabalho, para garantir a inclusão somente de variáveis significativas no modelo, utilizou-se teste de seleção de variáveis ao nível de 5% de significância.

Na etapa da análise do modelo de regressão de Poisson, os parâmetros meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar foram inseridos no estudo por serem considerados, frequentemente, fatores de confusão da associação entre poluição do ar e eventos da saúde (SCHWARTZ et al, 1996). Essas variáveis no modelo tiveram como finalidade principal

analisar os seus comportamentos e possíveis interferências, no período de estudo, sobre o número de internações por problemas respiratórios.

4.2.1 Internações por doenças no aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos)

A tabela 10 apresenta as estimativas dos parâmetros e os respectivos erros padrões do ajuste do modelo de regressão de Poisson para o número de internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 9anos). O coeficiente de determinação "pseudo" R^2 do modelo para os casos de crianças foi de 0,701, mostrando dessa forma que o modelo consegue explicar aproximadamente 70,1% da variabilidade da variável resposta.

Observa-se que para o ajuste do modelo em relação às internações por doenças respiratórias em crianças, as variáveis independentes "SO_2", "NO_2", "CO" e "Temperatura" são estatisticamente significantes para explicar a variabilidade da variável resposta, "internações por doenças respiratórias", ao nível exploratório de 5%. Enquanto as variáveis "MP_{10}", "O_3" e "Umidade relativa do ar" não apresentaram significância estatística ao nível de 5%.

Tabela 10 - Estimativa dos parâmetros referentes ao modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 9 anos)

	Parâmetros	Coeficientes	Erro Padrão	P > | z |	Exp (β)	IC 95%
≤ 9 anos	Intercepto	33,160	2,791	<2e-16	-	-
	SO_2	1, 472	0,209	1.67e-12	4,36	(2,893; 6,564)
	NO_2	0,033	0,016	0.0322	1,03	(1,002; 1,066)
	CO	0,007	0,003	0.0382	1,01	(1,001; 1,013)
	Temperatura	-0,664	0,104	1.61e-10	0,52	(0,420; 0,631)
R^2 = 0,710						
AIC = 559,9						

Nível de significância (α) = 5%

A forma para o modelo de regressão de Poisson em relação ao número de internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 9 anos) é apresentada na equação a seguir

$$log(\hat{y}) = 33{,}160 + \ 1{,}472\ SO_2 + \ 0{,}033\ NO_2 + \ 0{,}007\ CO - 0{,}664\ Temperatura \quad (12)$$

Avaliação das estimativas

a. Dióxido de Enxofre

Avaliando a estimativa encontrada para o dióxido de enxofre, observa-se que o ajuste do modelo de regressão de Poisson para os casos de internações por doenças respiratórias em crianças, tem-se: exp [β_{SO2}] = exp [1,472] = 4,36. Isso significa que mantidos os níveis das concentrações das demais variáveis fixos, o aumento de 1 μg/m³ na concentração do SO_2 implica 4,36 vezes mais chances de provocar internações por doenças respiratórias em crianças. Esse valor foi muito maior, como por exemplo, o obtido por Gouveia et al. (2006) em São Paulo, que contatou através de regressão de Poisson, que o dióxido de enxofre aumenta a chance em 6,7% de provocar internações por doenças respiratórias em crianças.

Resultante, principalmente, da queima de combustíveis que contêm enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina (SILVEIRA, 2010), o dióxido de enxofre (SO_2) provoca alguns malefícios na saúde humana. A sua absorção ocorre através das membranas mucosas do nariz e trato respiratório alto (RIBEIRO, 2010). Entre os possíveis efeitos da exposição às concentrações de SO_2, temos irritação na mucosa dos olhos e órgãos respiratórios, podendo causar efeitos agudos e crônicos e um decréscimo da função pulmonar (MARTINS et al., 2002). Provoca agravamento de doenças respiratórias preexistentes e também contribui para seu desenvolvimento (AZEVEDO; BERENSTEIN; JUNIRO, 1999).

Embora o dióxido de enxofre (SO_2) não tenha ultrapassado os limites previstos pela legislação brasileira e pela Organização Mundial de Saúde, esse poluente esteve associado às internações por doenças do aparelho respiratório em crianças. Para Hinrichs et al. (2003), os efeitos adversos do SO_2 na saúde não dependem apenas dos níveis de concentração, mas de alguns outros fatores, como por exemplo, o tempo de exposição. Portanto, indivíduos asmáticos ou com doenças crônicas e as crianças, por pertencerem aos grupos mais vulneráveis ao efeito desse poluente (CETESB, 2012), mesmo em níveis baixos, são os que mais sofrem a um curto prazo a exposição ao SO_2. Um estudo desenvolvido por Schwartz et al. (1991) em Los Angeles, EUA, encontrou associação entre o SO_2 e tosse em crianças. De forma semelhante, Hajat et al. (2001) verificou através de sua pesquisa realizada em Londres,

que o aumento nos níveis de concentrações do dióxido de enxofre (SO_2) provocaria um acréscimo de 24,5% no número de consultas pediátricas por rinite alérgica.

Em São Paulo, Gouveia et al. (2003) constatou que aumentos de 10 µg/m³ nos níveis de poluentes atmosféricos estão associados a aumentos nas internações infantis por doenças respiratórias na ordem de 7% para o dióxido de enxofre (SO_2).

A asma é uma doença crônica mais comum na infância e sua prevalência vem aumentando nos últimos tempos. A OMS estima que 300 milhões de pessoas tenham asma em todo o mundo, e que até 250 mil morrem por ano desta doença (RIBEIRO, 2010). Amâncio e Nascimento (2012) através de um estudo desenvolvido em crianças com até 10 anos de idade, na cidade de São Jose dos Campos - SP verificou que o dióxido de enxofre foi o poluente mais associado às internações por asma. Gouveia et al. (2006) por sua vez, verificou em São Paulo que o SO_2 aumenta em 10,0% a chance de provocar internações por asma em crianças.

b. Dióxido de Nitrogênio

Com relação à estimativa encontrada para o dióxido de nitrogênio, verificou-se que mantidos os níveis das demais variáveis fixos, o aumento de 1 µg/m³ da variável independente "NO_2", aumenta a chance de provocar internações por doenças respiratórias em 3% (exp [β_{NO2}] = exp [0,033] = 1,03) nas crianças. De forma semelhante, Gouveia et al. (2006) no município de São Paulo no período de 1996 e 2000, verificou que o dióxido de nitrogênio aumentaria a chance em 3% de provocar internações por doenças respiratórias, 2,3% por asma e 0,8% por pneumonia, em crianças.

O dióxido de nitrogênio (NO_2) considerado um gás tóxico na baixa troposfera é resultante da queima dos combustíveis fósseis. Os níveis de concentração desse poluente secundário variam com a hora do dia, com a estação do ano e com os fatores meteorológicos. Geralmente as concentrações máximas ocorrem nos horários matinais e vespertinos, e são atribuídos às emissões de origem veicular (KURIYAMA; MOREIRA; SILVA, 1997). Dependendo dos níveis de concentração e do tempo de exposição, o NO_2 pode causar problemas respiratórios como bronquite, asma e redução da capacidade pulmonar em crianças (UGUCIONE; MACHADO; CARDOSO, 2009).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (2005), estudos epidemiológicos realizados na América do Norte e Europa mostraram que a exposição a elevados níveis de concentração do dióxido de nitrogênio (NO_2), provocaria um aumento nos sintomas de bronquite e asma e um decréscimo da função pulmonar em crianças. Esses estudos também descobriram efeitos

adversos sobre a saúde das crianças que vivem em áreas metropolitanas caracterizadas por apresentarem níveis de NO_2 mais elevados, mesmo nos casos em que não ultrapassaram o limite máximo recomendado pela legislação.

Na pesquisa conduzida por Bakonyi et al. (2004), com o objetivo de investigar os efeitos causados pela poluição atmosférica na morbidade por doenças respiratórias em crianças no período de 1999 a 2000, em Curitiba-PR, verificou-se que embora o NO_2 não tenha ultrapassado o limite previsto em lei, ele foi correlacionado positivamente com doenças respiratórias em crianças. O mesmo ocorreu com estudo na cidade do Rio de Janeiro em que Castro et al. (2009), com objetivo de avaliar a associação entre a exposição diária à poluição atmosférica e função respiratória em escolares, verificou que o aumento dos níveis do NO_2 foram associados a diminuição da função respiratória em crianças entre 5 e 15 anos de idade.

c. Monóxido de Carbono

Analisando a estimativa encontrada no modelo para o monóxido de carbono (CO), observou-se que o mesmo aumentaria em 1% (exp [β_{CO}] = exp [0,007] = 1,01), mantidos os níveis das concentrações das demais variáveis fixos, a chance de provocar internações em crianças por problemas no aparelho respiratório. De forma semelhante, Gouveia et al. (2006), verificou no período de 1996-2000 na cidade de São Paulo que o monóxido de carbono aumentaria em 1,9% a chance de provocar internações por doenças respiratórias em crianças.

O CO é um gás inodoro e invisível, gerado na queima parcial de carbono nos combustíveis, sendo os veículos a sua principal fonte de emissão. (RESENDE, 2007). Em geral, é encontrado em maiores concentrações nos grandes centros urbanos, próximo a áreas de intensa circulação de veículos (SILVEIRA, 2010).

Os efeitos da exposição do homem ao monóxido de carbono estão associados à capacidade de transporte de oxigênio no sangue. O monóxido de carbono compete com o oxigênio na combinação com a hemoglobina no sangue, uma vez que sua afinidade com este gás poluente é 210 vezes maior do que com o oxigênio. Quando uma molécula de hemoglobina recebe uma molécula de monóxido de carbono forma-se a carboxihemoglobina, que diminui a capacidade do sangue de transportar oxigênio (BRAGA et al., 2002; AZEVEDO et al., 2007; CAVALCANTI, 2010). Portanto, os elevados índices de concentrações de CO podem provocar o aumento nos níveis de carboxihemoglobina no sangue, afetando a capacidade de trabalho e exercício em pessoas sadias. Um fato interessante é que estudos experimentais têm demonstrado que baixos níveis de carboxihemoglobina já

podem causar diminuição de reflexos em pessoas expostas a esse poluente. Diante disso, os altos índices de CO em áreas de tráfego intenso têm sido apontados como causa adicional de acidentes de trânsito (CAVALCANTI, 2010).

Na pesquisa conduzida por Gouveia et al. (2006), na cidade de São Paulo, verificou-se que o aumento de 10 µg/m³ nos níveis de poluentes atmosféricos está associado a aumento nas internações infantis por doenças respiratórias em 1,9% para o monóxido de carbono (CO). O mesmo correu com o estudo realizado em um bairro do Rio de Janeiro onde Moura et al. (2008) verificou associação entre CO e atendimentos pediátricos por queixas respiratórias.

d. Temperatura

A variável independente "Temperatura" apresenta o sinal negativo para a estimativa do parâmetro (exp [βTemperatura] = exp [-0,664] = 0,52), indicando que a diminuição de 1ºC aumenta em 52% a chance de provocar de internações por doenças respiratórias em crianças. Isso foi verificado nos **Gráficos 04 e 11**, que contatou-se uma relação bastante forte entre temperatura e internações por problemas respiratórios em crianças. O aumento da incidência de doenças respiratórias, nos períodos mais frios do ano, deve-se a dois fatores principais: as baixas temperaturas e o aumento nas concentrações dos poluentes primários (BAKONYI; DANNI-OLIVEIRA; MARTINS; BRAGA, 2004).

Azevedo et al. (1999) analisou na cidade de São Paulo, o nível de associação entre poluentes atmosféricos, variáveis climáticas e a incidência de doenças respiratórias em crianças com até 5 anos de idade. Nesse estudo foram utilizados dados de morbidade por doenças respiratórias, agrupados por mês. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se notável aumento no número de atendimento de crianças no período do inverno, isso devido ao fato de que nesse período existe uma dificuldade de dispersão dos poluentes e como consequência, um aumento dos níveis de concentração destes, associado ao fato de que, nesse período, as pessoas tendem a permanecerem mais tempo em locais fechados, com pouca circulação de ar.

4.2.2 Internações por doenças no aparelho respiratório em idosos (≥ 65 anos)

A tabela 11 apresenta as estimativas dos parâmetros e os respectivos erros padrões do ajuste do modelo de regressão de Poisson para o número de internações por doenças respiratórias em idosos (≥ 65 anos).

Podemos observar, através da tabela 11 que, para o ajuste do modelo em relação ao número de internações por doenças respiratórias em idosos, apenas as variáveis "NO_2" e "O_3" foram estatisticamente relevantes ao nível de 5% de significância para explicar a variabilidade da variável resposta "número de internações por doenças respiratórias" em idosos. Martins et al. (2002) também verificou, através do modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson, que o ozônio (O_3) provocaria um aumento nos atendimentos por problemas respiratórios em 8,07% na cidade de São Paulo. Gouveia et al. (2003) também observou, em estudo realizado no Rio de Janeiro, que o recrudescimento de NO_2 provocaria um aumento no número de internações por problemas respiratórios em idosos. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,697, para o caso de idosos, mostrando que o modelo explica aproximadamente 70% da variabilidade da variável resposta.

Tabela 11 - Estimativa dos parâmetros referentes ao modelo de regressão de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças respiratórias em idosos (≥ 65anos)

	Parâmetros	Coeficientes	Erro Padrão	P > | z |	Exp (β)	IC 95%
≥ 65 anos	Intercepto	4,254	0,099	<2e-16	-	-
	NO_2	-0,007	0,003	0,0334	0,99	(0,987; 0,999)
	O_3	0,030	0,005	7,05e-08	1,03	(1,020; 1,041)
R^2 = 0,697						
AIC = 228,74						

Nível de significância (α) = 5%

Em relação ao número de internações por doenças respiratórias em idosos (≥ 65 anos) a forma para o modelo é a apresentada pela equação

$$log(\hat{y}) = 4{,}254 - 0{,}007\, NO_2 + 0{,}030\, O_3 \qquad (13)$$

Avaliação das estimativas

a. Ozônio

Avaliando a estimativa encontrada para o ozônio, observa-se que o ajuste do modelo de regressão de Poisson para os casos de internações por doenças respiratórias em idosos o risco relativo foi de 1,03 (exp [βO_3] = exp[0,030]). Isso significa que mantidos os níveis das

demais variáveis fixos, o aumento de 1 μg/m³ de O_3 aumenta a chance em 3% de provocar internações em idosos por problemas respiratórias.

O ozônio é um poluente secundário originado a partir de reações fotoquímicas ocorrido na atmosfera. Alta temperatura e luz solar são condições termodinâmicas adequadas para a formação de O_3 em áreas urbanas (LYRA, 2010). Depois de formado na atmosfera, o O_3 tem meia vida de dias a semanas, podendo ser transportado por longas distâncias. É o mais persistente poluente do ar urbano, e é o principal responsável pela formação da névoa fotoquímica mais conhecida como smog fotoquímico, cujo nome foi dado pela diminuição da visibilidade na atmosfera. (RIBEIRO, 2010; SILVEIRA, 2010). O smog afeta a visibilidade além de causar vários danos à saúde (LYRA, 2010).

Por ser tratar de um poluente gasoso extremamente tóxico na baixa troposfera, o O_3 pode causar sérios efeitos na saúde humana, mesmo em baixas concentrações (CAVALCANTI, 2010). Provoca irritação nas vias respiratórias, dor de cabeça, tontura, náusea, diminuição da capacidade pulmonar e agravamento de doenças respiratórias (LYRA, 2010; CAVALCANTI, 2010). Os efeitos da exposição ao ozônio são mais intensos durante exercícios físicos, quando ocorre uma sensível redução da capacidade respiratória. Dessa forma, em dias muito poluídos não é recomendável a pratica de exercícios, principalmente entre 13 e 16 horas (CAVALCANTI, 2010)

Schwartz (1996) verificou em sua pesquisa que o ozônio (O_3) estava associado com o aumento do risco de internações por causas respiratórias em idosos em Spokane, Estados Unidos. Na pesquisa desenvolvida por Moolgavkar et al. (1997), com objetivo de investigar a relação entre os principais poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em idosos, em Minneapolis, cidade localizada no estado norte americano de Minnesota, observou uma relação significativa entre internações por problemas respiratórios e o ozônio (O_3). O mesmo ocorreu em São Paulo, que verificou através do estudo desenvolvido por Martins et al. (2002) que o aumento em 18% e 14% nas internações por doença pulmonar crônica e asma, respectivamente, em idosos, foram associados a variações diárias do ozônio. Arruda em 2008 mostrou em sua dissertação que o ozônio esteve associado a um acréscimo de 10% nas internações hospitalares por doenças respiratórias em idosos na cidade de Cubatão, localizada no estado de São Paulo.

b. Dióxido de Nitrogênio

As principais fontes de emissão do dióxido de nitrogênio (NO_2) são os veículos automotores. Esse poluente, quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão, gerando efeitos tóxicos (CANÇADO et al., 2006).

Apesar de alguns estudos apresentarem associação positiva entre dióxido de nitrogênio e problemas respiratórios em idosos, como por exemplo o estudo desenvolvido por Gouveia et al. (2003) no Rio de Janeiro, na presente pesquisa, verificou-se, apesar de pequena, uma associação negativa entre esse poluente e o número de internações por doenças respiratórias em idosos como mostram os resultados obtidos na **Tabela 11**, onde se observou que risco relativo foi aproximadamente 1 (RR= 0,990 e IC 95%: 0,987; 0,999). Alguns fatores podem ter influênciado esse resultado que dirvergiu dos achados clássicos da literatura, como por exemplo, o tamanho da amostra utilizado nesse estudo que foi de vinte e dois (22) meses.

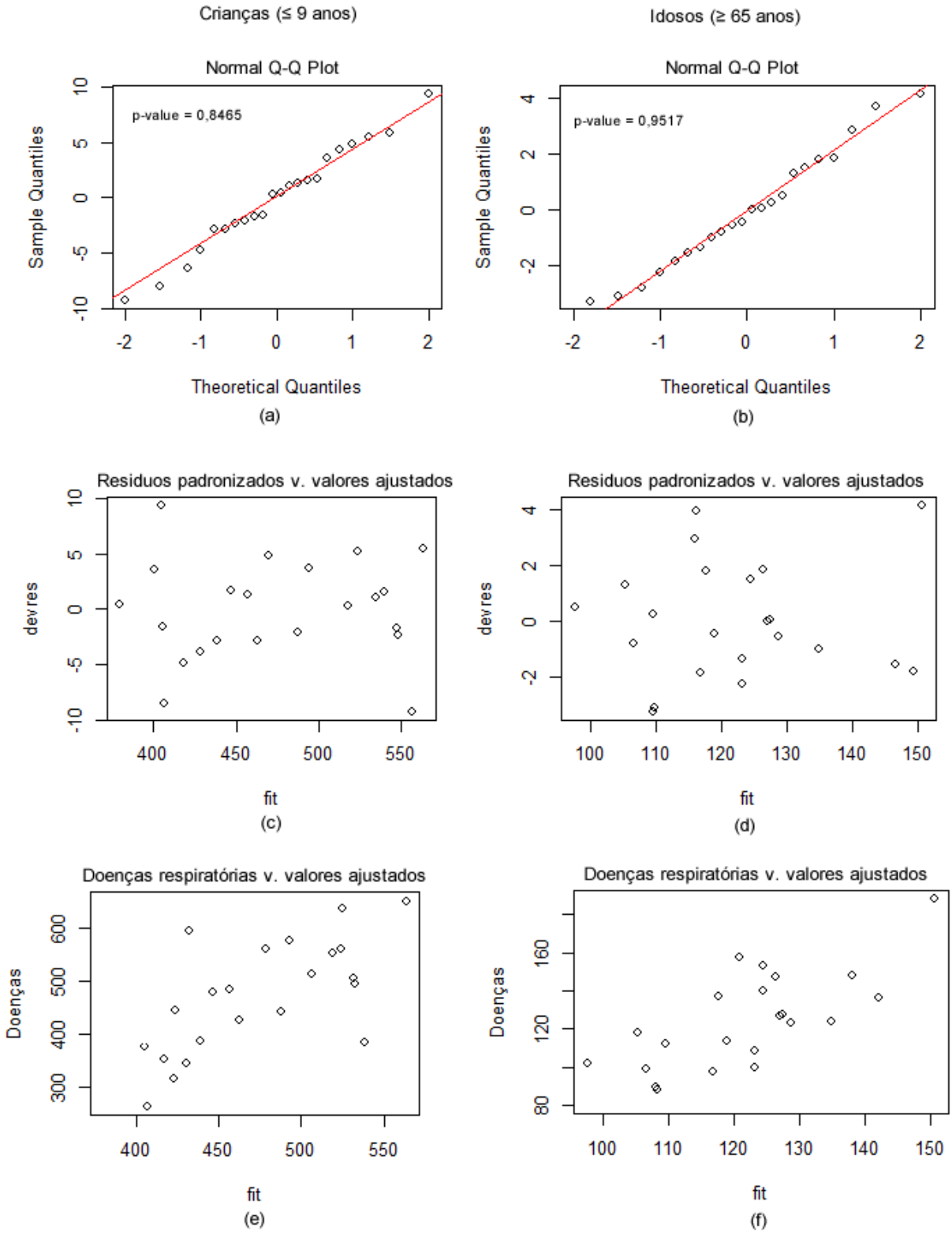
4.3 ANÁLISE DA ADEQUABILIDADE DO MODELO

O desempenho de um modelo é avaliado pela sua capacidade preditiva e definida a partir dos próprios dados utilizados na determinação do modelo. Modelos com boa adequabilidade apresentam pequenas discrepâncias entre os dados reais e seus respectivos valores preditivos (SANT'ANNA, 2006).

Para avaliar a adequação do modelo para os casos de internações por doenças do aparelho respiratório em idosos ($\geq$ 65 anos) e crianças ($\leq$ 9 anos), apresentam-se alguns gráficos como para verificação da normalidade dos dados, verificação da adequação da função de ligação, verificação da função de variância e o gráfico da distância de Cook para verificação de pontos influentes.

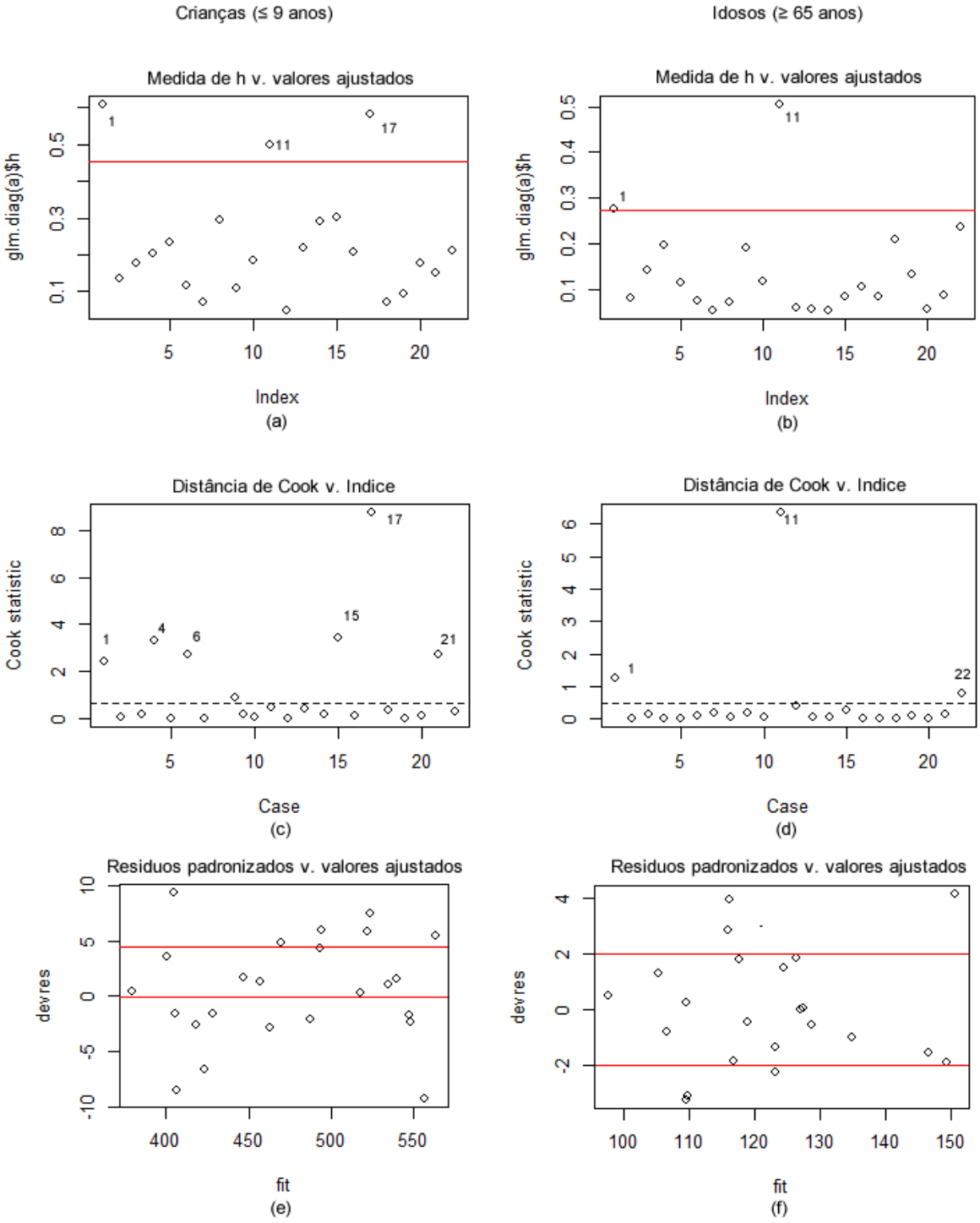
Nas figuras 04a, 04b, 04c, 04d, 04e e 04f são apresentados os gráficos dos resíduos. Nas figuras 04a e 4b, observou-se que as hipóteses de normalidade, realizadas através do teste Kolmogorov-Smirnov, para o número de internações por doenças no aparelho respiratório em crianças e idosos, foram aceitas (p-valor > α = 5%). Verifica-se nas figuras 04c e 04d que os valores não apresentam nenhuma tendência, ou seja, os pontos estão dispostos de forma aleatória em torno do zero, indicando que a função de variância está adequada para ambos os casos. Através dos gráficos 04e e 04f é possível verificar a adequação da função de ligação, pois os valores estão distribuídos no gráfico linearmente.

Figura 04 - Gráficos dos resíduos referentes ao modelo de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças do aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos) e idosos (≥ 65 anos)



Nas figuras 05a a 05d são apresentados alguns gráficos de diagnóstico. Para identificação dos pontos de alavanca são apresentados os valores de $\boldsymbol{h_{ii}}$ nas Figuras 05a e 05c. Já as observações influentes podem ser detectadas através do gráfico de Cook (Figuras 05b e 05d).

Figura 05: Gráficos das medidas de diagnóstico referentes ao modelo de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças do aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos) e idosos (≥ 65 anos)



Com relação ao ajuste do modelo de Poisson aos dados de internações por doenças em crianças, as observações #1, #11 e #17 aparecem como pontos de alavanca, como mostra a figura 05a, seis (06) observações são destacadas como possivelmente influentes (figura 05c) e dezesseis (16) observações como apresentados da figura 05e são dadas como aberrantes. Para os casos de internações em idosos observa-se que há dois (02) pontos que se destacam como de alavanca, #1 e #11 (figura 05b), na figura 05d tem-se que os pontos #1, #11 e #22 destacam-se como influentes e seis (06) pontos destacam-se como aberrantes (figura 05f).

As observações influentes ou de alavanca não devem ser retiradas do modelo, pois sua exclusão pode implicar mudanças substanciais nas estatísticas deste. No entanto, se estas observações se constituírem como discrepantes (outliers), deve-se verificar a possível retirada devido a provável influência nas estimativas dos parâmetros do modelo (CORDEIRO; LIMA NETO, 2004; SANT'ANNA, 2006). Após um estudo realizado com as observações influentes para os casos de internações por doenças respiratórias em crianças e idosos, optou-se pela não retirada desses pontos do modelo.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÃO

Com relação a internações por doenças do aparelho respiratório na rede pública de saúde no período de estudo, no município de Salvador-BA, constatou-se que crianças e idosos correspondem a 64,31% dos casos, como apresentado na Tabela 06. Segundo o IBGE, a população de crianças e idosos somadas, em Salvador, corresponde menos de 40% da população, mostrando dessa forma que esses dois grupos são os que mais sofrem com problemas respiratórios.

Apesar dos valores apresentados no banco de dados do DATASUS terem sido significativos em relação ao número de internações por doenças respiratórias nos grupos mais vulneráveis (crianças e idosos), é importante lembrar que essas informações poderiam ser ainda mais representativas caso as ocorrências não registradas, conforme já citadas neste trabalho, tivessem feito parte desse conjunto de informações.

Notadamente em relação às regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo, no período em que os dados foram disponibilizados, 2009 e 2011, respectivamente, assim como o município de Salvador, mantiveram os índices de NO_2, SO_2, CO de acordo com o determinado pela Resolução CONAMA. O mesmo não aconteceu com os poluentes MP_{10} e O_3, naquelas regiões, que acabaram apresentando níveis acima do permitido pela referida legislação correlata, diferentemente de Salvador, como já foi demonstrado.

As medidas das concentrações para os poluentes atmosféricos no período de estudo (22 meses, de novembro de 2010 a setembro de 2012), em Salvador, mantiveram-se dentro dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990, ultrapassando apenas o limite estabelecido pela OMS em relação ao material particulado (MP_{10}). Mas alguns estudos desenvolvidos através de técnicas estatísticas demonstraram efeitos negativos da poluição atmosférica sobre a saúde, mesmo em níveis de concentrações menores do que os previstos em lei.

Estimar o nível de associação entre a poluição atmosférica e internações por doenças respiratórias é uma etapa importante na construção de planejamentos para a realização de tomadas de decisões acerca de ações governamentais que visam à redução da poluição atmosférica e consequentemente uma melhoria na qualidade de vida da população. Apesar das limitações em relação ao desenho de estudo utilizado nessa pesquisa, foi possível verificar

associação estatisticamente significativa entre poluição atmosférica e internações por doenças no aparelho respiratório em crianças e idosos. Constatou-se, através do ajuste do modelo, que o aumento de 1µg/m³ de "SO_2" implica 4,36 vezes mais chances de provocar internações por doenças do aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos), o "NO_2" em 3% e o "CO" em 1%. A diminuição de 1ºC na "temperatura" aumenta em 52% o número de internações por doenças respiratórias em crianças. Para os casos de idosos, apenas o "O_3" apresentou associação estatisticamente significativa, aumentando a chance de provocar internações por doenças respiratórias em 3% nesse grupo.

Observou-se também que, mesmo verificando no período de estudo que o material particulado (MP_{10}) ultrapassou em 25 vezes o limite máximo estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (2005), este não apresentou associação significativa com o número de internações por doenças respiratórias em crianças e idosos na cidade de Salvador, apesar de vários estudos mostrarem uma relação entre internações por doenças respiratórias e MP_{10}, mesmo em níveis considerados seguros pela nossa legislação que, comparativamente à legislação estabelecida pela Organização Mundial de Saúde apresenta níveis de tolerância mais elevados para cada poluente atmosférico envolvido no estudo. (NASCIMENTO et al., 2006; CASTRO et al. 2007; BRAGA et al., 2007; MARCILIO; GOUVEIA, 2007; MASCARENHAS et al., 2008; CASTRO et al. 2009; MOURA et al., 2009).

Em função dos resultados observados, concluímos que apesar dos níveis de concentrações dos poluentes verificados nesse estudo estarem dentro dos níveis aceitáveis pela legislação brasileira, observou-se associação positiva entre o aumento de internações por doenças respiratórias e os níveis de concentrações dos poluentes atmosféricos, como já constatado em outros estudos.

Com relação à análise do ajuste do modelo, apesar da identificação de alguns pontos influentes e de alavanca, obervados nos gráficos de diagnósticos, foi possível, através dos gráficos dos resíduos referentes ao modelo de Poisson ajustado aos dados sobre internações por doenças respiratórias em crianças e idosos, verificar a boa adequação do modelo proposto nesse estudo para a tomada de decisão.

Mesmo diante de algumas limitações verificou-se associação entre a poluição atmosférica de origem veicular em Salvador com o aumento de internações por doença no aparelho respiratório em crianças e idosos. Por fim, espera-se que, os resultados obtidos nesse estudo sejam utilizados como instrumento na tomada de decisão por parte dos gestores, subsidiando o estabelecimento de políticas públicas objetivando a melhoria da qualidade de

vida da população no município de Salvador, reduzindo as emissões de poluentes atmosféricos.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante da experiência adquirida durante o desenvolvimento desta pesquisa e objetivando continuar a ampliação do conhecimento nessa área, sugere-se, alguns tópicos que poderão ser abordados em trabalhos futuros:

a. Estimar, através dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) o efeito da poluição atmosférica sobre a saúde humana em um período superior a 22 meses;
b. Aplicar outros modelos estatísticos como: Modelos Aditivos Generalizados (MAG) e series temporais;
c. Realizar um estudo comparativo entre possíveis modelos estatísticos para o estudo em questão;
d. Utilizar informações agrupadas por semana epidemiológica sobre notificações por doenças respiratórias;
e. Inserir outras variáveis, como dia da semana, mês e/ou estações do ano, além de outras variáveis meteorológicas que não foram empregadas nesse estudo como velocidade, direção do vento e precipitação pluviométrica;
f. Expandir essa metodologia para outras regiões do país;
g. Estimar a associação entre diversas doenças respiratórias como pneumonia, asma, bronquite, rinite entre outras, de forma isolada em relação aos poluentes atmosféricos e em diferentes faixas etárias.

REFERÊNCIAS

ABREU, G. C.; MELO, G. C. B. Metodologia para definição de uma rede de monitoramento contínuo de efluentes atmosféricos em uma indústria siderúrgica. Apresentado em: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19º Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 2 - FITABES'97, Foz do Iguaçu, 14-19 set. 1997.

AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO L. F. C. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. Revista da Associação Medica Brasileira, São Paulo, v. 58, n.3, 2012.

ANDERSON, J. O.; THUNDIUIL, J. G. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. Journal of Medical Toxicology, v. 8, Issue 2, p 166-175, jun 2012.

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. Dissertação de Mestrado da Universidade Católica de Santos. Departamento de Meio Ambiente e Saúde, Santos, 2008.

ASSUNÇÃO, J. V.; HASEGAWA, P T. Geração Termelétrica com Turbinas a Gás Natural e seu Impacto na Qualidade do Ar. Workshop: "Geração Termelétrica a Gás Natural", promovido pelo IBAMA e PETROBRAS, Porto Alegre-RS, jun 2001.

AZEVEDO, L. A. P.; BERENSTEIN, M.; JUNIOR, F. F. C. Analysis of the influence of climatic changes and atmospheric pollutants on respiratory diseases in children in an emergency setting. Alergia, Asma e Inmonología Pediátricas. v. 8, n. 3, p.78-84, 1999.

BAHIA. Portaria nº 488, de 29 de Junho de 2011. Dispõe sobre o Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso no Estado da Bahia. Publicado no Diário Oficial do Estado da Bahia, em 30 de Jun de 2011.

BAI, N.; KHAZAEI, M.; EEDEN, S. F.van; LAHER, I. The Pharmacology of Particulate Matter Air Pollution-Induced Cardiovascular Dysfunction. Pharmacology therapeitics. v. 113, Issue:1, p.16-29, jan 2007.

BAKONYI, S. M. C.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; MARTINS, L. C.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. Revista de Saúde Pública. São Paulo: n. 38, v. 5, p. 695-700, 2004.

BAXTER, L. A.; FINCH, S. J.; LIPFERT, F. W.; YU, QIQING. Comparing estimates of the effects of air pollution on human mortality obtained using different regression methodologies. Risk Analysis, v. 17, n. 3, p. 273-278, jun 1997.

BELL, M. L.; DOMINICI, F.; SAMET, J. M. A Meta-Analysis of Time-Series Studies of Ozone and Mortality With Comparison to the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Epidemiology , v. 16, n.4, jul 2005.

BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; PROCOPIO, M.; ANDRE, P. A.; SALDIVA, P. H. N. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 23 Sup 4:S570-S578, 2007.

BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana. Faculdade de Medicina da USP, São Paulo. 2002. Disponível em: < http://libdigi.unicamp.br/document/?view=1039>. Acesso em: 11 Dezembro 2011.

BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A.; MENEZES, J. J. C.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; LIN, C. A.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY D. W. Health Effects of air pollution exposure on childrean and adolescents in São Paulo, Brazil. Pediatr Pulmonol 2001; 31(2):106-13.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Resolução nº 18, de 06 de maio de 1986. Publicado no Diário Oficial da União, de 17/06/86.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR. Resolução nº 05, de 15 de junho de 1989. Publicado no Diário Oficial da União, de 25/08/89, Seção I, p. 14.713-14.714.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. Publicado no Diário Oficial da União, de 22/08/90, Seção I, p. 15.937-15.939.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Resolução nº 418, de 25 de Novembro de 2009. Publicado no Diário Oficial da União nº 226, de 26/11/2009, p. 81-84.

CANÇADO, J. E. D; BRAGA A.; PEREIRA, L. A. A; ARBEX, M. A. ; SALDIVA P. H. N; SANTOS, U. P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. J. bras. pneumol. v.32 suppl.2, São Paulo, May 2006.

CASTRO, H. A.; CUNHA, M. F.; MENDONÇA, G. A. S.; JUNGER, W. L.; CUNHA-CRUZ, J.; LEON, A. P. Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. Rev Saúde Pública; v. 43, n. 1, p. 26-34. 2009.

CASTRO, H. A.; HACON, S.; ARGENTO, R.; JUNGER, W. L.; MELLO, C. F.; JUNIOR, N. C.; COSTA, J. G. Air pollution and respiratory diseases in the Municipality of Vitória, Espírito Santo State, Brazil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 23 Sup 4:S630-S642, 2007.

CASTRO, H. A.; GOUVEIA, N.; ESCAMILLA-CEJUDO, J. A. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. Rev. Bras. Epidemiol., v.6, n.2, 2003.

CASTRO, P.; VERA J.; CIFUENTES, L.; WELLENIUS G.; VERDEJO, H.; SEPULVEDA, L. VUKASOVIC, J. L.; LLEVANERAS S. Polución por material particulado fino (PM 2,5) incrementa las hospitalizaciones por insuficiência cardiaca. *Ver Chil Cardiol.* Santiago, v. 29, p. 306-314, 2010.

CASTRO, H. A.; HACON, S.; ARGENTO, R.; JUNGER, W. L.; MELLO, C. F.; JUNIOR, N. C.; COSTA, J. G. Air pollution and respiratory diseases in the Municipality of Vitória, Espírito Santo State, Brazil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 23 Sup 4:S630-S642, 2007.

CAVALCANTI, M. L. F.; D'EL REY, D. C. H.; LENCASTRE, E. F.; PILON, A. F.; SANTOS, S. O.; SOSSAI, J. A. Saúde na Escola – 1º Grau. 1ª Edição. São Paulo: Ibrasa, 1979.

CAVALCANTI, P. M. P. S. Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – Abordagem Preventiva e Corretiva. 2010. 252 f. Tese (Doutorado em planejamento energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

CENDON, S.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; CENCEIÇÃO, G. M. S.; JUNIOR, A. C.; ROMALDINI, H.; LOPES, A. C.; SALDIVA, P. H. N. Air pollution effects on myocardial infarction. Rev Saúde Pública; v. 40, n.3, p.414-9, Jun 2006.

CETESB. Relatório Anual da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo. São Paulo; 2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 15 Janeiro 2012.

CETESB. Ficha de Informação Toxocológica. São Paulo; Julho de 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/dioxido_de_enxofre.pdf> . Acesso em: 27 Dezembro 2012.

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

CORDEIRO, G. M. Modelos lineares generalizados. In: Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica, 12., Santa Maria, 2007. Mini-curso. Santa Maria: UFSM, 2007.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. Modelos Lineares Generalizados. Minicurso para o 12º SEAGRO e a 52ª. Reunião Anual da RBRAS, UFSM, Santa Maria, RS.

CORDEIRO, G. M.; LIMA NETO, E. A. Modelos Paramétricos, 1ª Edição. São Paulo: ABE, p 254. 2004.

CORDEIRO, G. M.; PAULA, G. A. Modelos de Regressão para Análise de Dados Univariados. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada, p, 364, Mai. 1989.

COSTA, S. C. Modelos Lineares Generalizados Mistos para Dados Longitudinais. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agricultura " Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2003.

COX, D.R.; SNELL, E.J., A general definition of residuals, Journal of the Royal Statistical Society B, v. 30, p. 248-275, 1968.

CURILOV, R. Caracterização das Estações da Rede de Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP – Estação Moóca. São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>. Acesso em: 07 Outubro 2012.

DEMÉTRIO, C. G. B. Modelos Lineares Generalizados em Experimentação Agronômica. Piracicaba/SP: ESALQ/USP. p 121. 2002.

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/>. Acesso em: 25 Janeiro 2012.

FREITAS, C. U.; BREMNER, S. A.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N.
Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. Rev. Saúde Pública. São Paulo, v.38 n.6, Dez. 2004.

FREITAS, C. U, PEREIRA, L. A. A., SALDIVA, P. H. N. Vigilância dos Efeitos na Saúde Decorrentes da Poluição Atmosférica: Estudo de Factibilidade. Disponível em: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/1encuent/brasil2.pdf >. Acesso em: 17 Junho 2012.

FRONDIZI, C. A.; KALYVA, M. Monitoramento da Qualidade do Ar – Teoria e Prática. Rio de Janeiro: e-papers, p. 276. 2008

GIODA, A.; GIODA, F. R. A influência da qualidade do ar nas doenças respiratórias. Health and Environment Journal, v. 7, n.1, jun 2006.

GOUVEIA N.; MENDONÇA G. A. S; LEON A. P.; CORREIA J. E. M.; JUNGER W. L.; FREITAS C. U. ; DAUMAS R. P.; MARTINS L. C.; GIUSSEPE L.; CONCEIÇÃO G. M. S.; MANERICH A.; CUNHA-CRUZ J. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. Epidemiologia e Serviços de Saúde, v.12 , n.1 , p. 29-40, 2003.

GOUVEIA, N.; FREITAS, C. U.; MARTINS, L. C.; MARCILIO, I. O. Hospitalizações por Causas Respiratórias e Cardiovasculares Associadas à Contaminação Atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 22, n. 12, p. 2669-2677, dez. 2006.

GUERRA, F. P.; MIRANDA, R. M. Influência da Meteorologia na Concentração dos Poluentes Atmosférico $PM_{2,5}$ na RMRJ e na RMSP. In: II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2011, Londrina-PR. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2011.

HABERMANN, M.; GOUVEIA, N. Tráfego Veicular e Mortalidade por Doenças do Aparelho Circulatório em Homens Adultos. Revista de Saúde Pública. São Paulo, v. 46, n. 1, p. 26-33. Fev 2012.

HABERMANN, M.; MEDEIROS, A. P. P.; GOUVEIA, N. Tráfego Veicular como Método de Avaliação da Exposição à Poluição Atmosférica nas Grandes Metrópoles. Revista Brasileira de Epidemiologia. São Paulo,v. 14, n. 1, p. 120-130, Mar. 2011.

HAJAT, S.; HAINES, A.; ATKINSON, R.W.; BREMNER, A. S.; ANDERSON, H. R.; EMBERLIN, J. Association between air pollution and daily consultations with general practitioners for llergic rhinitis in London, United Kingdom. American Journal of Epidemiology. v.153, n. 7, p. 704-714. 2001.

HINRICHS, R. A. KLEINBACH, M. Energia e Meio Ambiente. Tradução da 3ª edição norte-americana. São Paulo: Thomson, 2003.

BRASIL, 2004, Proconve. Disponível em: <www. ibama.gov.br>. Acesso em: 10 Janeiro 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 03 Fevereiro 2012.

IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; SILVA, A. M. C.; JUNGER, W. L.; CASTRO, H. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção dos municípios segundo indicadores de saúde. Rev Bras Epidemiol; v. 10, n. 4, p. 453-464, 2007.

IGNOTTI, E.; HACON S. S.; JUNGER, W. L.; MOURÃO D.; LONGO K.; FREITAS S.; LEON A. C. M. P. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p.747-761, 2010.

INEA. Relatório Anual da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro; 2009. Disponível em: < http://www.inea.rj.gov.br/downloads/relatorios/qualidade_ar_2009.pdf>. Acesso em: 17 Janeiro 2012.

JUNGER, W. L.; LEON, A. P. Poluição do ar e baixo peso ao nascer no Município do Rio de Janeiro, Brasil, 2002. Cad. Saúde Pública. Rio de Janeiro, 23 Sup 4:S588-S598, 2007.

KATSOUYANNI, K.; SCHWARTZ, J.; SPIX, C.; TOULOUMI, G.; ZMIROU, D.; ZANOBETTI, A.; WOJTYNIAK, B.; VONK, J. M.; TOBIAS, A.; PÖNKÄ, A.; MEDINA, S.; BACHÁROVÁ, L.; ANDERSON, H. R. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. J Epidemiol Community Health; 50 Suppl 1:S12-S18. 1996.

KURIYAMA, G. S.; MOREIRA, J. C.; SILVA, C. R. S. Exposição Ocupacional ao Dióxido de Nitrogênio (NO_2) em Policiais de Trânsito na Cidade do Rio de Janeiro. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, n. 4, v.13, p. 677-683, 1997.

LEAL, G. C. S. G.; FARIAS, M. S. S.; ARAUJO, A. F. Processo de Industrialização e seus Impactos no Meio Ambiente Urbano. *Qualit@s Revista Eletrônica,*Campina Grande, v. 7, n.1, 2008.

LEMOS, J. F. Poluição Veicular: Avaliação dos Impactos e Benefícios Ambientais com Renovação da frota veicular leve na cidade de São Paulo. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em energia) - Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

LYRA, D. G. P. Modelo Integrado de Gestão da Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Salvador. 2008. 262 f. Tese (Doutorado em engenharia química) - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas. 2008.

LYRA, D. G. P.; TOMAZ, E. A influência da meteorologia na dispersão dos poluentes atmosféricos da Região Metropolitana de Salvador. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. 2006.

MARCIANO, F. W. P. Principais tipos de resíduos utilizados na análise de diagnóstico em MLG com aplicações para os modelos: Poisson, ZIP e ZINB. Relatório final de atividades apresentado à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação referente ao projeto de Iniciação Científica de mesmo título, período 2008/2009. Departamento de estatística e matemática aplicada, Universidade Federal do Ceará. 2009.

MARCILIO, I.; GOUVEIA, N. Quantifying the impact of air pollution on the urban population of Brazil. Cad. Saúde Pública. Rio de Janeiro, 23 Sup 4:S529-S536, 2007.

MANAHAN, S.E. Environmental Chemistry. New York: CRC Press LLC, 7 ed. 2000.

MARTINS, C. M.; LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A.; GONÇALVES, F. L. T.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. Ver. Saúde Pública, v. 35, n.1, p. 88-94, 2002.

MARTINS, L. C.; PEREIRA, L. A. A.; LIN, C. A.; SANTOS, U. P.; PRIOLI, G.; LUIZ, O. C.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F.The effects of air pollution on cardiovascular diseases: lag structures. Rev Saúde Pública. São Paulo, v. 40, n.4 p, 677-683, Ago. 2006.

MASCARENHAS, M. D. M.; VIEIRA, L. C.; LANZIERI, T. M.; LEAL, A. P. P. R.; DUARTE, A. F.; HATCH, D. L. Anthropogenic air pollution and respiratory disease-related emergency room visits in Rio Branco, Brazil - September, 2005. J Bras Pneumol. v. 34, n. 1, p. 42-46, 2008.

MEIRA L.; DUCATI, J. R.; TEIXEIRA, E. C. Avaliação do Impacto da Resolução Espacial de Modelos Digitais de Eelevação Sobre a Estimativa de Formação de Ozônio Superficial Usando Models-3. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.4, p 390-398, 2009.

MENDES, F. E. Avaliação de programa de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil. Mar 2004. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro.
Ministério do Meio Ambiente (MMA). Registros de Emissão e Transferências de Poluentes – RETP. Manual descritivo. v.7, p. 1-72, 2010.

MIRLEAN, N; VANZ, A.; BAISCH, P. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 23, n. 5, Out. 2000.

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

MOURA, M.; JUNGEN, W. L.; MENDONÇA, G. A. S.; LEON, A. P. D. Qualidade do ar e transtornos respiratórios agudos em crianças. Rev Saúde Pública. São Paulo, v. 42, n. 3, p. 503-11, Jun. 2008.

MOURA, M.; JUNGEN, W. L.; MENDONÇA, G. A. S.; LEON, A. P. D. Air quality and emergency pediatric care for symptoms of bronchial obstruction categorized by age bracket in Rio de Janeiro, Brazil. Cad. Saúde Pública. Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 635-644, Mar. 2009.

MYERS, R.H.; MONTGOMERY, D.C. & VINING, G.H. (2002). Generalized Linear Models with applications in Engineering and the Sciences. John Wiley & Sons, New Yord. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=LBiT207QLZgC&oi=fnd&pg=PR5&dq=+Generalized+Linear+Models+with+applications+in+Engineering+and+the+Sciences&ots=lDxHWo6lD-&sig=cLY_nDAGudSpSRQMkPuI3UP-jZI >. Acesso em 01 Dezembro 2012.

NASCIMENTO, L. F. C.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; MODELO, M. C. C.; CARVALHO, J. A. Effects of air pollution on children's health in a city in Southeastern Brazil. Rev Saúde Pública. São Paulo, v. 40, n. 1, Jan. 2006.

NEGRETE, B. R.; ROSA, C. C.; IKEUTI, D. H.; DELENA, P. J.; BORBA, T. M.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e internações por insuficiência cardíaca congestiva em adultos e idosos em Santo André (SP). Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde, v.35, n. 3, p. 208-12, Set/Dez 2010.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society A 135, p 370-384. 1972.
NISHIOKA, D. C.; COURA, F. L. B.; PEREIRA, L. A. A.; CONCEIÇÃO, G. M. S. Estudo dos efeitos da poluição atmosférica na mortalidade neonatal e fetal na cidade de São Paulo, Brasil. Rev Med. São Paulo, 79(2/4): p 81-89, Abr/Dez. 2000.

ONURSAL, B., GAUTAM. S.P. Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American. World Bank Technical Paper, 1997.

PAULA, G. A. Modelos de regressão com apoio computacional. São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.ime.usp.br/~giapaula/ >. Acesso em: 17 Janeiro 2012.

PENGELLY, L. D. F. Health effects of air pollution assessed using Ontario health survey data. Final report for project. Institute of Environmental and Health, McMaster University and University of Toronto. Dec 1992.

PINTO, P. M. G. C. Análise das Emissões Veiculares em Regiões Urbanas e Metodologia para Quantificação de poluentes. 2005. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia e Ciência, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PNUD/ONU - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/home/>. Acesso em: 03 Fevereiro 2012.

PORTELLA, K. F.; PIAZZA, F.; INONE, P. C, JUNIOR, S. R.; CABUSSÚ, M. S.; CERQUEIRA, D. P.; CHAVES, C. S. S. Atmosferic pollution (coastal and industrial) effects on electric energy distribution insulators in Salvador, Brazil, metropolitan region. Química Nova, São Paulo, v. 31, n. 2, 2008.

RAO, C. R.; WU, Y. Linear model selection by cross-validation. Journal Statistical Planning and Inference, 128, p. 231-240. 2005.

REIGADA, C.; REIS, M. F. C. T. Educação ambiental para crianças no ambiente urbano: uma proposta de pesquisa-ação. Ciência & Educação, v. 10, n. 2, p. 149-159, 2004.

RESENDE, F. Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios. Dissertação (Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RIBEIRO, E. P. Efeito da exposição à poluição atmosférica em concentrações urbanas da função testicular de ratos wistar. 2010. 102f. Tese (Doutorado em Medicina) – Programa de Pós-Graduação em Medicina: Ciências Médicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RIBEIRO, H. Queimas de Cana-de-açucar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. Revista de Saúde Pública, v. 42, n. 2, São Paulo, 2008.

SALVADOR. Plano municipal de saneamento básico. Prefeitura municipal de Salvador. 2010. Disponível em: <www.infraestrutura.salvador.ba.gov.br/consultapublica>. Acesso em: 06 janeiro 2013.

ROSA, A. M.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; CASTRO, H. A. Analysis of hospitalizations for respiratory diseases in Tangará da Serra, Brazil. J Bras Pneumol. São Paulo, v. 34, n. 8, p. 575-582, Ago. 2008.

SANT'ANNA, A. M. O.; CATEN, C. S. Modelagem da Fração de Não-conforme em Processos Industriais. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, v.30, n.1, p.53-72, Jan/Abr de 2010.

SANTOS, A. R.; VAREJÃO, A. S.; SILVA, K. G. Modelagem do Impacto da Ampliação da Avenida Fernando Ferrari (Vitória- ES) na Qualidade do Ar em sua Redondeza. Sociedade & Natureza (UFU. Impresso). Uberlândia, v. 23, p. 249-262, Ago. 2011.

SCHIRMER, W. N.; PIAN, L. B.; SZYMANSKI, M. S. E.; GAUER, M. A. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. Ciênc. saúde coletiva. Rio de Janeiro, v.16 n. 8, Ago. 2011.

SCHMIDT, C. M. C. Modelo de regressão de Poisson aplicado à área da saúde. Ijúi, 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2003.

SCHWARTZ J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. Epidemiology Res, Boston, USA, v. 7, n. 1, p.20-7, 1996.

SCHWARTZ, J.; SPIX, C; TOULOUMI, G; BACHÁROVÁ, L; BARUMAMDZADEH, T; LE TERTRE, A; PIEKARKSI, T; DE LEON, A. P.; PÖNKÄ, A.; ROSSI, G.; SAEZ, M.; SCHOUTEN, J. P. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. J Epidemiol Community Health. 50 Suppl 1:S3-11. Apr 1996.

SCHWARTZ J, WYPIJ D, DOCKERY D, WARE J, ZEGER S, SPENGLER J, FERRIS B JR. Daily diaries of respiratory symptoms and air pollution: methodological issues and results. Environmental Health Perspective.v. 90, p. 181-187, 1991.

SEMA - Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar para Acompanhamento de Eventos Críticos de Poluição Decorrente da Queima de Biomassa. Cuiabá: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, 2008. Disponível em: < http://www.sema.mt.gov.br/>. Acesso em: 02 Fevereiro 2012.

SHER, E. Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines. London: Elsevier Press, Mar 1998.

SILVEIRA, L. U. Poluição atmosférica em região limítrofe dentro da cidade de Curitiba. 2010. 97 f. Dissertação – Mestre no Programa Profissionalizante em Desenvolvimento de Tecnologia (PRODETEC) do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e do Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), na linha de pesquisa Meio Ambiente e Desenvolvimento, Curitiba. 2010.

SMARGIASSI, A.; KOSATSKY, T.; HICKS, J.; PLANTE, C.; ARMSTRONG, B.; VILLENEUVE, P. J.; GOUDREAU, S.Risk of Asthmatic Episodes in Children Exposed to Sulfur Dioxide Stack Emissions from a Refinery Point Source in Montreal, Canada. Environmental Health Perspectives. v. 117, n. 4, p. 653-659, Apr. 2009.

SOUZA, P. A.; MELLO W. Z.; MARIANI R. L.; SELLA, S. M. Caracterização do Material Particulado Fino e Grosso e Composição da Fração Inorgânica Solúvel em Água em São José dos Campos (SP). São Paulo: *Quim. Nova*, v. 33, n. 6, p. 1247-1253, 2010.

STERN, A.C., BOUBEL, R.W., TURNER, D.B., FOX, D.L. Fundamentals of Air Pollution. 3 ed. Orlando: Academic Press, Inc, p 555. 1984.

TADANO, Y. S.; UGAYA, C. M.; FRANCO, A. T. Método de Regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. Revista Ambiente e Sociedade. Campinas, p. 241-255. Dez 2009.

TORRES, F. T. P.; ROCHA, G. C.; RIBEIRO, G. A. Geociência Aplicada – Diferentes Abordagens. Minas Gerais: Geographica, 149 f. 2008.

UGUCIONE, C.; MACHADO, C. M. D.; CARDOSO, A. A. Avaliação de NO_2 na atmosfera de ambientes externos e internos na cidade de Araraquara, São Paulo. Quimica Nova, v. 32, n. 7, p. 1829-1833, 2009.

VIEIRA, N. R. Poluição do Ar. Rio de Janeiro: E-papers, p 220. 2009.

WHO - World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. Geneva, 2006. Disponível em: < http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf>. Acesso em: 06 Junho 2012.

WILLS, W. O aumento da influência energética nos veículos leves e suas implicações nas emissões de gases de efeito estufa – Cenário brasileiro entre 2000 e 2030. 2008. f.155. Dissertação (Mestrado em ciências em planejamento energético) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

YANAGI, Y. Estudo da influência do material particulado na incidência e mortalidade por câncer na cidade de São Paulo. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Programa de Pós-graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

YATERA, K.; HSIEH, J.; HOGG, J. C.; TRANFIELD, E.; SUZUKI, H.; SHIH, C. H.; BEHZAD, A. R.; VICENT, R.; VAN EEDEN, S. F. Particulate Matter Air Pollution Exposure Promotes Recruitment of Monocytes Into Atherosclerotic Plaques. Am J Physiol Heart Circ Physiol. v. 294, n. 2, p.944-53. Epub Dec 2007. Feb 2008.

APÊNDICE A - Solicitação de Dados para a Pesquisa a Secretaria Municipal de Saúde de Salvador

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós Graduação em Modelos de Decisão e Saúde

CARTA DE SOLICITAÇÃO DE DADOS PARA PESQUISA CIENTIFICA

João Pessoa, 10 de Setembro de 2012.

Ilma Sra. Tatiana Paraíso
Secretária Municipal de Saúde da Cidade de Salvador

A poluição atmosférica nos grandes centros urbanos tem sido identificada como um grave problema de saúde pública, de modo mais concreto, desde o começo do século XX. São duas as principais fontes de emissão associadas à contaminação do ar urbano: as indústrias, desde o início da revolução industrial até os dias atuais, e os veículos automotores, que vêm se transformando na principal fonte de emissão a partir da segunda metade do século XX.

Os estudos realizados, de forma sistemática, nas últimas três décadas, têm contribuído para a identificação de grupos suscetíveis, das características físico-químicas dos poluentes do ar e dos principais efeitos adversos atribuídos à sua exposição.

Diante dessa problemática, eu, Luciana Alves da Nóbrega, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, estou desenvolvendo uma pesquisa acadêmica e de difusão científica intitulada: **"Modelagem da Influência de Poluentes Atmosféricos Veiculares e Fatores Meteorológicos em Afecções Respiratórias"**. Esta tem como **objetivo fundamental** avaliar os efeitos da exposição aos poluentes gasosos e material particulado, no período de 2011, gerados a partir dos veículos automotores sobre o número de casos de doenças respiratórias notificadas pela Secretaria da Saúde de Salvador mediante a utilização de Modelos Matemáticos.

Esses poluentes gerados pelos veículos automotores estão previstos no Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV. Esse plano foi instituído como obrigatoriedade para todos os estados através da Resolução CONAMA nº 418/2009, com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes no ar gerados por veículos automotores em uso.

O monitoramento da qualidade do ar tem elevada importância para a definição de políticas, de abatimento da poluição. É através da rede de monitoramento que se pode constatar a evolução das concentrações dos poluentes e aferir a eficácia dos processos de controles de emissões. Na cidade de Salvador, é de grande relevância a iniciativa de parceria entre o estado e município para a estruturação da rede de monitoramento da qualidade do ar, que hoje, é composta por 05 estações fixas automáticas de monitoramento, sendo que na etapa final serão 10 estações (09 estações fixas e 01 unidade móvel). Os dados resultantes do monitoramento

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós Graduação em Modelos de Decisão e Saúde

serão utilizados para diversos estudos técnicos e científicos para definição e acompanhamento das políticas de controle da qualidade do ar nas regiões onde foram implantadas.

Entretanto, para que se tenha uma total compreensão dos problemas ocasionados pela poluição do ar na saúde da população de Salvador, se faz necessário obter, além das informações sobre as concentrações dos poluentes monitorados, ter-se também, o número de ocorrências diárias de problemas de saúde relacionados àqueles fatores.

Tendo em vista a relevância desses dados para a eficácia desse estudo, solicito gentilmente à Secretaria de Saúde do Município de Salvador a cessão dessas informações, número de notificações por doenças respiratórias em Salvador diariamente por cada distrito sanitário no período de 2011, para o desenvolvimento e aplicabilidade destes nessa pesquisa científica.

Todos os dados coletados nesse estudo serão única e exclusivamente utilizados nesta pesquisa e caso contenham informações de caráter pessoal estas serão mantidas sob o mais absoluto sigilo.

Se houver qualquer dúvida sobre o estudo, os responsáveis pelos dados fornecidos por cada órgão citado neste documento poderão receber mais esclarecimentos com o pesquisador através do email lucyana.ufpb@gmail.com ou pelo telefone (0xx83) 8806-3696.

Ao final da pesquisa, o município de Salvador, se assim desejar, terá livre acesso ao conteúdo da mesma, sendo possibilitado o debate ou questionamentos correlatos às conclusões obtidas pela pesquisadora no presente estudo.

Estou à disposição para quaisquer esclarecimentos e desde já agradeço a atenção.

Atenciosamente,

João A. Nascimento

Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento
Orientador – UFPB

César Cavalcanti da Silva

Prof. Dr. César Cavalcanti da Silva
Orientador - UFPB

Luciana Alves da Nóbrega

Luciana Alves da Nóbrega
Orientanda - UFPB

APÊNDICE B - Solicitação de Dados para a Pesquisa ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós Graduação em Modelos de Decisão e Saúde

CARTA DE SOLICITAÇÃO DE DADOS PARA PESQUISA CIENTIFICA

João Pessoa, 18 de Outubro de 2012.

Ilmo. Sr. Eduardo Topázio
Coordenador de Monitoramento e de Recursos Hídricos
Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA

A poluição atmosférica nos grandes centros urbanos tem sido identificada como um grave problema de saúde pública, de modo mais concreto, desde o começo do século XX. São duas as principais fontes de emissão associadas à contaminação do ar urbano: as indústrias, desde o início da revolução industrial até os dias atuais, e os veículos automotores, que vêm se transformando na principal fonte de emissão a partir da segunda metade do século XX.

Os estudos realizados, de forma sistemática, nas últimas três décadas, têm contribuído para a identificação de grupos suscetíveis, das características físico-químicas dos poluentes do ar e dos principais efeitos adversos atribuídos à sua exposição.

Diante dessa problemática, eu, Luciana Alves da Nóbrega, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, estou desenvolvendo uma pesquisa acadêmica e de difusão científica intitulada: **"Modelagem da Influência de Poluentes Atmosféricos Veiculares e Fatores Meteorológicos em Afecções Respiratórias"**. Esta tem como **objetivo fundamental** avaliar os efeitos da exposição aos poluentes gasosos e material particulado, no período de 2011, gerados a partir dos veículos automotores sobre o número de casos de doenças respiratórias notificadas pela Secretaria da Saúde de Salvador mediante a utilização de Modelos Matemáticos.

Esses poluentes gerados pelos veículos automotores estão previstos no Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV. Esse plano foi instituído como obrigatoriedade para todos os estados através da Resolução CONAMA nº 418/2009, com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes no ar gerados por veículos automotores em uso.

O monitoramento da qualidade do ar tem elevada importância para a definição de políticas, de abatimento da poluição. É através da rede de monitoramento que se pode constatar a evolução das concentrações dos poluentes e aferir a eficácia dos processos de controles de emissões. Na cidade de Salvador, é de grande relevância a iniciativa de parceria entre o estado e município para a estruturação da rede de monitoramento da qualidade do ar, que hoje, é composta por 05 estações fixas automáticas de monitoramento, sendo que na etapa final serão 10 estações (09 estações fixas e 01 unidade móvel). Os dados resultantes do monitoramento

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós Graduação em Modelos de Decisão e Saúde

serão utilizados para diversos estudos técnicos e científicos para definição e acompanhamento das políticas de controle da qualidade do ar nas regiões onde foram implantadas.

Entretanto, para que se tenha uma total compreensão dos problemas ocasionados pela poluição do ar na saúde da população de Salvador, se faz necessário obter, além das informações do número de ocorrência diárias de problemas de saúde, ter-se também, os níveis de concentrações dos poluentes monitorados.

Tendo em vista a relevância desses dados para a eficácia desse estudo, solicito gentilmente a cessão dessas informações, concentrações em hora em hora, para todos os parâmetros monitorados pela rede de monitoramento da qualidade do ar de Salvador no período de 2011, para o desenvolvimento e aplicabilidade destes nessa pesquisa científica.

Todos os dados coletados nesse estudo serão única e exclusivamente utilizados nesta pesquisa. Se houver qualquer dúvida sobre o estudo, os responsáveis pelos dados fornecidos por cada órgão citado neste documento poderão receber mais esclarecimentos com a pesquisadora através do email lucyana.ufpb@gmail.com ou pelo telefone (0xx83) 8806-3696.

Ao final da pesquisa, o município de Salvador, se assim desejar, terá livre acesso ao conteúdo da mesma, sendo possibilitado o debate ou questionamentos correlatos às conclusões obtidas pela pesquisadora no presente estudo.

Estou à disposição para quaisquer esclarecimentos e desde já agradeço a atenção.

Atenciosamente,

João S. Nascimento

Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento
Orientador – UFPB

César Cavalcanti da Silva

Prof. Dr. César Cavalcanti da Silva
Orientador - UFPB

Luciana Alves da Nóbrega

Luciana Alves da Nóbrega
Orientanda - UFPB

APÊNDICES C - Fotografia da visita técnica à estação de monitoramento da qualidade do ar da Av. Paralela, Salvador-BA

APÊNDICES D - Script dos gráficos de séries temporais e do ajuste do modelo de regressão de Poisson, com a utilização do software R version 2.15.0.

Gráficos de Séries Temporais

```
library(tcltk)
Dados <- tclvalue(tkgetOpenFile(title="Abrir Banco de Dados"))
dados<<- read.table(file = Dados, header=TRUE, dec=",")
dd = dados$Date
dd = as.Date(dd, "%d/%m/%y")
y1 = dados$SO2
y2 = dados$MP10
y3 = dados$CO
y4 = dados$O3
y5 = dados$NO2
y6 = dados$Temperatura
y7 = dados$Umidade
plot(dd, y1, type = "l", xlab = "Ano", ylab = "SO2")
plot(dd, y2, type = "l", xlab = "Ano", ylab = "MP10")
plot(dd, y3, type = "l", xlab = "Ano", ylab = "CO")
plot(dd, y4, type = "l", xlab = "Ano", ylab = "O3”)
plot(dd, y5, type = "l", xlab = "Ano", ylab = "NO2")
plot(dd, y6, type = "l", xlab = "Ano", ylab = "Temperatura Média Diária")
plot(dd, y7, type = "l", xlab = "Ano", ylab = "Umidade Média Diária do Ar")
```

Modelagem 01. Internações por doenças do aparelho respiratório em idosos (≥ 65 anos).

```
#Limpar
rm(list = ls())
library(tcltk)
library(boot) # Ativa algumas bibliotecas de interesse para ajuste de MLGs
library(nortest) # Testes de normalidade
Dados <- tclvalue(tkgetOpenFile(title="Abrir Banco de Dados"))
Dados1 <<- read.table(file = Dados, header=TRUE, dec=",")
attach(Dados1)
hist (Doenças1)
```

```
#Ajuste do modelo (Modelo1)
Modelo1 = glm(formula = Doenças1 ~ MP + SO2 + NO2 + CO + O3 + Temp + Umid, family = poisson (link = "log"), data= Dados1)
Summary(Modelo1)
Modelo1 = glm(formula = Doenças1 ~ MP + SO2 + NO2 + CO + O3 + Temp, family = poisson (link = "log"), data= Dados1)
Summary(Modelo1)
Modelo1 = glm(formula = Doenças1 ~ MP + SO2 + NO2 + CO + O3, family = poisson (link = "log"), data= Dados1)
Summary(Modelo1)
Modelo1 = glm(formula = Doenças1 ~ MP + NO2 + CO + O3, family = poisson (link = "log"), data= Dados1)
Summary(Modelo1)
Modelo1 = glm(formula = Doenças1 ~ NO2 + CO + O3, family = poisson (link = "log"), data= Dados1)
Summary(Modelo1)
Modelo1 = glm(formula = Doenças1 ~  NO2 + O3, family = poisson (link = "log"), data= Dados1)
Summary(Modelo1)
# Sumario do ajuste
s = summary(Modelo1)
#Teste Global do Modelo
#Desvio escalonado do ajuste para validação do modelo
desvio = s$deviance/s$dispersion
#q.quadr com n-p grau de liberdade, onde p é o número de parâmetros do modelo
q.quadr = qchisq(0.95, s$df.residual)
# Teste global do ajuste do modelo
desvio < q.quadr #se Verdadeiro modelo adequado
#Análise de resíduos e diagnostico
#Valor ajustado e desvio residual
fit = fitted(Modelo1)
devres = glm.diag(Modelo1)$rd
par(mfrow=c(2,2))
#Grafico de Normalidade
```

```
library(nortest)
lillie.test(devres)
qqnorm(devres); qqline(devres, col=2)
#Verificar a função de variância
plot(fit,devres)
#Verificar a função de Ligação
plot(fit,Doenças1)
# Pontos de Alavanca e Influentes (Visualização Gráfica)
glm.diag.plots(Modelo1)
n=nrow(Dados1)
p = (s$df.null - s$df.residual)+1
#Identificacao de pontos de alavanca
plot(glm.diag(Modelo1)$h)
abline(h=2*(p/n), col = 2)
which(glm.diag(Modelo1)$h > 2*(p/n))
```

Modelagem 02. Internações por doenças do aparelho respiratório em crianças (≤ 9 anos).

```
#Limpar
rm(list = ls())
library(tcltk)
library(boot) # Ativa algumas bibliotecas de interesse para ajuste de MLGs
library(nortest) # Testes de normalidade
Dados <- tclvalue(tkgetOpenFile(title="Abrir Banco de Dados"))
Dados2 <<- read.table(file = Dados, header=TRUE, dec=",")
attach(Dados2)
hist (Doenças2)
#Ajuste do modelo (Modelo2)
Modelo2 = glm(formula = Doenças2 ~ MP + SO2 + NO2 + CO + O3 + Temp + Umid, family
= poisson (link = "log"), data=bd)
Summary(Modelo2)
Modelo2 = glm(formula = Doenças2 ~ SO2 + NO2 + CO + O3 + Temp + Umid, family =
poisson (link = "log"), data= Dados2)
Summary(Modelo2)
```

```
Modelo2 = glm(formula = Doenças1 ~ SO2 + NO2 + CO + O3 + Temp, family = poisson
(link = "log"), data= Dados2)
Summary(Modelo2)
Modelo2 = glm(formula = Doenças1 ~ SO2 + NO2 + CO + Temp, family = poisson (link =
"log"), data= Dados2)
Summary(Modelo2)
Summary(Modelo1)
# Sumario do ajuste
s = summary(Modelo2)
#Teste Global do Modelo
#Desvio escalonado do ajuste para validação do modelo
desvio = s$deviance/s$dispersion
#q.quadr com n-p grau de liberdade, onde p é o número de parâmetros do modelo
q.quadr = qchisq(0.95, s$df.residual)
# Teste global do ajuste do modelo
desvio < q.quadr #se Verdadeiro modelo adequado
#Análise de resíduos e diagnostico
#Valor ajustado e desvio residual
fit = fitted(Modelo2)
devres = glm.diag(Modelo2)$rd
par(mfrow=c(2,2))
#Grafico de Normalidade
library(nortest)
lillie.test(devres)
qqnorm(devres); qqline(devres, col=2)
#Verificar a função de variância
plot(fit,devres)
#Verificar a função de Ligação
plot(fit,Doenças2)
# Pontos de Alavanca e Influentes (Visualização Gráfica)
glm.diag.plots(Modelo2)
n=nrow(Dados2)
p = (s$df.null - s$df.residual)+1
#Identificacao de pontos de alavanca
```

```
plot(glm.diag(Modelo2)$h)
abline(h=2*(p/n), col = 2)
which(glm.diag(Modelo2)$h > 2*(p/n))
```

ANEXO A - Autorização da Empresa Responsável pelo Monitoramento da Qualidade do Ar de Salvador – Cetrel e do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA para utilização dos dados de monitoramento da qualidade do Ar de Salvador nessa Pesquisa.

Camaçari, 27 de novembro de 2012.
CE-Monitoramento – 065/12

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELOS DE DECISÃO E SAÚDE

Prof. Dr. João Agnaldo do Nascimento
Orientador - UFPB

Ref: RESPOSTA A CARTA DE SOLICITAÇÃO DE DADOS PARA PESQUISA CIENTÍFICA

Prezado Senhor:

Em atenção ao Vosso Pleito na carta de 18 de outubro de 2012 no que tange a indicação de dados objetivando pesquisa, informamos que tal pedido fora deferido e o faremos com brevidade.

Fica autorizada também a utilização dos dados solicitados para desenvolvimento da dissertação da mestranda Luciana Alves da Nóbrega.

Atenciosamente,

Eduardo Fontoura
Gerente de Monitoramento

Av. Tancredo Neves, 3343, Edf. Cempre, Torre A, 41.820-021, Salvador, Bahia, Brasil | Tel.: + 55 71 3273.2200 | Fax: + 55 71 3273.2212
Via Atlântica, km. 9, Polo Industrial de Camaçari, 42.810-000, Camaçari, Bahia, Brasil | Tel.: + 55 71 3634.6810 | Fax: + 55 71 3634.6899
www.cetrel.com.br

ANEXOS B - Resolução CONAMA nº 03/1990 que dispõe sobre padrões de qualiadde do ar previsto no pronar

RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990
Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção 1, páginas 15937-15939

Correlações:
· Complementa a Resolução nº 5/89

Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o inciso II, do Art. 6º, da Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989, e tendo em vista o disposto na Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990, Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e,

Considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País;

Considerando que a Portaria GM 0231, de 27 de abril de 1976, previa o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito;

Considerando o previsto na Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar "PRONAR", resolve:

Art. 1º São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo único. Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Art. 2º Para os efeitos desta Resolução ficam estabelecidos os seguintes conceitos:

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

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

Parágrafo único. Os padrões de qualidade do ar serão o objetivo a ser atingido mediante a estratégia de controle fixada pelos padrões de emissão e deverão orientar a elaboração de Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar.

Art. 3º Ficam estabelecidos os seguintes Padrões de Qualidade do Ar:

I - Partículas Totais em Suspensão

a) Padrão Primário

1 - concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) micro gramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinqüenta) micro-

gramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

II - Fumaça

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 -concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinqüenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida uma de urna vez por ano.

III - Partículas Inaláveis

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 50 (cinqüenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinqüenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

IV - Dióxido de Enxofre

a) Padrão Primário

1- concentração média aritmética anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2- concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

V - Monóxido de Carbono

a) Padrão Primário e Secundário

1- concentração médio de 8 (oito) horas, de 10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico de ar (9 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

2 - concentração média de 1 (uma) hora, de 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico de ar (35 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VI - Ozônio

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média de 1 (uma) hora, de 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico do ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VII - Dióxido de Nitrogênio

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 320 (trezentos e vinte) microgramas por metro cúbico de ar.

b) Padrão Secundário

1- concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 190 (cento e noventa) microgramas por metro cúbico de ar.

Art. 4º Ficam estabelecidos os seguintes métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos a serem definidos nas respectivas Instruções Normativas:

a) Partículas Totais em Suspensão - Método de Amostrador de Grandes Volumes ou

Método Equivalente.

b) Fumaça - Método da Refletância ou Método Equivalente.

c) Partículas Inaláveis - Método de Separação Inercial/Filtração ou Método Equivalente.

d) Dióxido de Enxofre - Método de Pararonasilina ou Método Equivalente.

e) Monóxido de Carbono - Método do Infra-Vermelho não Dispersivo ou Método Equivalente.

f) Ozônio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

g) Dióxido de Nitrogênio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

§ 1º Constitui-se Método de Referência, os métodos aprovados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e, na ausência deles, os recomendados pelo IBAMA como os mais adequados e que deva ser utilizado preferencialmente.

§ 2º Poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA.

§ 3º Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25ºC e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

Art. 5º O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos estados.

Art. 6º Ficam estabelecidos os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de estado e dos municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

§ 1º Considera-se Episódio Crítico de Poluição do Ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

§ 2º Ficam estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência, para a execução do Plano.

§ 3º Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio, bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados.

§ 4º As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de Atenção e de Alerta têm por objetivo evitar o atingimento do Nível de Emergência.

§ 5º O Nível de Atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

a) concentração de dióxido de enxofre (SO_2), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;

b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;

c) produto, igual a $65x10^3$, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO_2) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 08 (oito) horas, de 17.000 (dezessete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);

e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico;

f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinqüenta) microgramas por metro cúbico;

g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e

cinqüenta) microgramas por metro cúbico.

h) concentração de dióxido de nitrogênio (NO_2), média de 1 (uma) hora, de 1130 (um mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

§ 6º O Nível de Alerta será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

a) concentração de dióxido de enxofre (SO_2), média de 24 (vinte e quatro) horas, 1.600 (um mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;

b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico;

c) produto, igual a 261 x 10^3, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO_2) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico (30 ppm);

e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;

f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.

g) concentração de fumaça. média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.

h) concentração de dióxido de nitrogênio (NO_2), média de 1 (uma) hora de 2.260 (dois mil, duzentos e sessenta) microgramas por metro cúbico:

§ 7º O Nível de Emergência será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

a) concentração de dióxido de enxofre (SO_2); média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;

b) concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;

c) produto igual a 393 x 10^3, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO_2) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico (40 ppm);

e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 1.000 (hum mil) microgramas por metro cúbico;

f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;

g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;

h) concentração de dióxido de nitrogênio (NO_2), média de 1 (uma) hora de 3.000 (três mil) microgramas por metro cúbico.

§ 8º Cabe aos estados a competência para indicar as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis, devendo as declarações efetuarem-se por qualquer dos meios usuais de comunicação de massa.

§ 9º Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental.

Art. 7º Outros Padrões de Qualidade do Ar para poluentes, além dos aqui previstos, poderão ser estabelecidos pelo CONAMA, se isto vier a ser julgado necessário.

Art. 8º Enquanto cada estado não definir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no

item 2, subitem 2.3, da Resolução CONAMA nº 5/89, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos nesta Resolução.

Art. 9º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

JOSÉ A. LUTZENBERGER - Presidente do Conselho
TÂNIA MARIA TONELLI MUNHOZ - Secretária-Executiva

NOTA: Republicada para trazer incorreção na numeração dos artigos (versão original no DOU nº 158, de 16 de agosto de 1990, pág. 15518-15519)

Este texto não substitui o publicado no DOU, de 22 de agosto de 1990.