



Universidade Estadual Paulista – UNESP
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá

Adrian Blanco Machín

**EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A POLUENTES DO AR NA SAÚDE HUMANA:
INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CUIABÁ, MT**

Guaratinguetá
2017

Adrian Blanco Machín

**EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A POLUENTES DO AR NA SAÚDE HUMANA:
INTERAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CUIABÁ, MT**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento

**Guaratinguetá
2017**

Machín, Adrian Blanco

M149e Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde humana: interações por doenças respiratórias em Cuiabá, MT / Adrian Blanco Machín – Guaratinguetá, 2017.

74 f : il.

Bibliografia: f. 62-71

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento

1. Ar - Poluição. 2. Monóxido de carbono. 3. Aparelho respiratório - doenças. I. Título

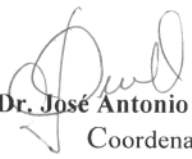
CDU 504.05(043)

ADRIAN BLANCO MACHÍN

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
Orientador / UNESP-FEG



Prof.ª Dr.ª ANA CRISTINA GOBBO CESAR
IFT-Bragança Paulista



Prof. Dr. GILSON FERNANDES RUIVO
UNITAU

Fevereiro de 2017

DADOS CURRICULARES

ADRIAN BLANCO MACHÍN

NASCIMENTO: 19.04.1987 – PINAR DEL RIO / CUBA

FILIAÇÃO: Antonio Blanco Torres
Estrella Machín Arias

2005/2011 - Graduação em Licenciatura em Cultura Física.

Universidade de Pinar del Río. Faculdade de Cultura Física “Nancy
Uranga Romagoza”- UPR - FCF. Cuba.

2005/2011 - Professor do Departamento Ciências Biológicas.

Universidade de Pinar del Río. Faculdade de Cultura Física “Nancy
Uranga Romagoza”- UPR - FCF. Cuba.

2015/2017 - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,

Nível de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá.
Universidade Estadual Paulista (FEG-UNESP). Brasil.

À minha família querida...

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento, pela dedicação, orientação e auxílio nesta importante etapa da minha vida,

ao CNPq - Programa PEC-PG pelo apoio financeiro,

aos professores das disciplinas de minha graduação e pós-graduação, que sedimentaram a base para o meu desenvolvimento,

à Katia Cristina Cota Mantovani, pela ajuda na coleta de dados,

aos meus pais, que sempre estiveram comigo nos momentos de dificuldade, dando-me apoio mesmo à distância para que eu pudesse me desenvolver intelectualmente e profissionalmente,

à minha irmã Einara, por ter-me ajudado sempre nas horas que precisei,

ao meu cunhado Daniel, por ter-me ajudado no desenvolvimento desta pesquisa,

à minha esposa Yunaisy, pelo companheirismo, apoio, carinho, paciência e dedicação em todos os momentos,

aos funcionários da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, pela dedicação, presteza e comprometimento.

Os louros e os acertos deste trabalho compartilho com as pessoas acima citadas e com todos aqueles que me ajudaram de alguma forma, direta ou indiretamente.

*Este trabalho contou com o apoio financeiro do CNPq processo:190432/2014-4 -
Programa PEC-PG*

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.

Isaac Newton

RESUMO

A poluição do ar é uma das principais causas de internação por doenças do aparelho respiratório. Efeitos negativos na saúde devido à exposição aos poluentes atmosféricos vêm causando aumentos nas internações hospitalares. O objetivo desse estudo consiste em identificar a associação entre a exposição ao material particulado fino, ajustado pelo monóxido de carbono sobre as internações hospitalares da rede pública por algumas doenças respiratórias na população de Cuiabá, MT, no período de 01 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2013. A metodologia utilizada fundamenta-se na pesquisa de estudo ecológico de série temporal. A variável dependente considerada foi o número de internações hospitalares concernentes às doenças: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva crônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), que representam em torno de 75% do total das doenças respiratórias (J00.0 – J99.9) e cujos códigos correspondem à CID 10, esses dados foram obtidos do DATASUS. As variáveis independentes consideradas foram as concentrações diárias dos poluentes $PM_{2,5}$ e CO, estimados pelo modelo matemático CCATT-BRAMS. Os dados temperatura mínima e umidade relativa do ar foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia e número de focos de queimadas do Sistema de Informações Ambientais. A abordagem estatística utilizou o modelo linear generalizado da regressão de Poisson com defasagens de 0 a 7 dias. Foram estimados custos financeiros e aumentos no número de internações decorrentes de aumentos na concentração de $PM_{2,5}$ no ar. Os coeficientes fornecidos pela regressão de Poisson foram convertidos em risco relativo de internação adotando alfa = 5%. Foram 4998 internações segundo diagnóstico J-00 a J99 no período estudado, sendo 3876 internações (76,8%) por doenças específicas. A exposição ao $PM_{2,5}$ quando ajustado com o CO, constitui fator de risco de internação nos 7 lags considerados, com valores entre $RR=1,09$ (IC95% 1,06 - 1,12) no Lag 7 e $RR=1,12$ (IC95% 1,09 – 1,15) no Lag 0, devido a que o CO potencializou a ação do $PM_{2,5}$. Um aumento de $5 \mu g/m^3$ na concentração de $PM_{2,5}$ implicou num aumento de até 1670 internações e custos acima dos R\$ 1,68 milhão para o Sistema de Saúde Pública. Verificou-se portanto a associação da exposição a poluentes do ar e internações por doenças respiratórias bem como a exequibilidade de uso de modelo matemático.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição do ar. Material particulado. Monóxido de carbono. Doenças do aparelho respiratório.

ABSTRACT

Air pollution is one of the main causes of hospitalization for respiratory diseases. Negative health effects due to exposure to air pollutants are causing increases in hospital admissions. The objective of this study is to identify the association between exposure to fine particles, adjusted for carbon monoxide and hospitalizations in Public Health System by some respiratory diseases in the population of Cuiabá, MT, in the period of January 1, 2012 To December 31, 2013. The methodology used is based on the ecological study of time series. The dependent variable was the number of hospital admissions in relation to diseases: tracheitis and laryngitis (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronchitis and bronchiolitis (J20.0 - J21. 9), congestive pulmonary disease (J44.0 - J44.9), and asthma (J45.0 - J45.9), which account for about 75% of all respiratory diseases (J00.0 - J99.9) And whose codes correspond to ICD-10, these data were obtained from DATASUS. The independent variables were the daily concentration of pollutants PM_{2,5} and CO, estimated by the mathematical model CCATT-BRAMS. Data of minimum temperature and the relative humidity were obtained from the National Institute of Meteorology and the number of fires from the system of environmental information. The statistical approach used the linear model of Poisson regression with delay of 0 to 7 days (lag0 to lag7). Financial expenses and increases in the number of hospitalizations due to the increase in the PM_{2,5} concentration in the air were estimated. The coefficients provided by the Poisson regression became the relative risk of hospitalization considering $\alpha = 5\%$. There were 4998 hospitalizations according to J-00 to J99 diagnoses in the study period, with 3876 hospitalizations (76.8%) for the specific diseases. Exposure to PM_{2,5} when adjusted for CO, constitutes a risk factor for hospitalization in the 7 considered lags, ranging from RR = (CI 95%: 1.06 to 1.12) 1.09 in Lag 7 and RR = 1.12 (95% CI: 1.09 to 1.15) in Lag 0, because CO increases the action of PM_{2,5}. An increase of 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the concentration of PM_{2,5} resulted in an increase up to 1670 hospitalizations and costs of R\$ 1,68 million for the Public Health System. Therefore, the association of exposure to air pollutants and hospitalizations due to respiratory diseases, as well as the viability of the mathematical model in use, were verified.

KEYWORDS: Air pollution. Particulate matter. Carbon monoxide. Respiratory diseases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados do poluente (PM _{2,5}).	34
Figura 2 - Alguns dos processos sub-grades envolvidos no transporte de gases e aerossóis e simulados pelo modelo CCATT-BRAMS	35
Figura 3 - Séries de tempo com comparação entre CO próximo à superfície (ppb, acima) e PM _{2,5} (µg/m ³ , embaixo) observado (preto) e resultado do modelo (vermelho).	37
Figura 4 - Imagem de Cuiabá, MT no mapa.	38
Figura 5 - Vista do centro da cidade Cuiabá, MT	39
Figura 6 - Tela da coleta de dados através do Datasus.	40
Figura 7 - Expansão do banco utilizando TabWin.	40
Figura 8 - Gráficos da distribuição dos valores de PM _{2,5} (A); CO (B); e Internações por doenças respiratórias (C), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	48
Figura 9 - Gráficos da distribuição dos valores de Umidade Relativa do Ar (A); Temperatura Mínima (B); Focos de Queimadas (C), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	49
Figura 10 - Risco relativo (e respectivos intervalos de confiança de 95%) de internações pelas doenças respiratórias específicas na exposição ao material particulado fino (PM _{2,5}) ajustados pelo CO, Umidade Relativa do Ar, Temperatura Mínima, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	55
Figura 11 - Valores de Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao PM _{2,5} com aumento de 5µg/m ³ no valor das concentrações diárias, ajustados pelo CO, Umidade Relativa do Ar, Temperatura Mínima, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	55
Figura 12 - Valores da razão atribuível proporcional (RAP) decorrentes do Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao PM _{2,5} , quando aumentadas em 5 µg/m ³ as concentrações diárias, ajustados pelo CO, Umidade Relativa do Ar, Temperaturas Mínimas, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos limites no índice de qualidade do ar segundo a Organização Mundial da Saúde (2013).	29
Tabela 2 - Internação pelo Sistema Único de Saúde. Mês de janeiro de 2012. Cuiabá, MT.	41
Tabela 3 - Estatística descritiva, segundo semestres, do número de internações totais por doenças respiratórias dos códigos (J00.0 - J99.9), e das internações específicas: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva crônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), em Cuiabá, MT, 2012.	44
Tabela 4 - Estatística descritiva, segundo semestres, do número de internações totais por doenças respiratórias dos códigos (J00.0 - J99.9), e das internações específicas: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva crônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), em Cuiabá, MT, 2013.	44
Tabela 5 - Estatística descritiva, segundo semestres, dos valores médios diários do número de internações, dos poluentes atmosféricos PM _{2,5} (µg/m ³), CO (ppb), umidade relativa média (%), temperatura mínima (°C) e número de focos de queimadas, Cuiabá, MT, 2012.	45
Tabela 6 - Estatística descritiva, segundo semestres, dos valores médios diários do número de internações, dos poluentes atmosféricos PM _{2,5} (µg/m ³), CO (ppb), umidade relativa média (%), temperatura mínima (°C) e número de focos de queimadas, Cuiabá, MT, 2013.	45
Tabela 7 - Estatística descritiva, segundo semestres, dos valores médios diários do número de internações, dos poluentes atmosféricos PM _{2,5} (µg/m ³), CO (ppb), umidade relativa média (%), temperatura mínima (°C) e número de focos de queimadas, Cuiabá, MT, 2012 e 2013 (Total Período de Estudo).	45

Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os poluentes PM _{2,5} e CO, variáveis climáticas, focos de queimadas e internações pelas doenças respiratórias específicas.	47
Tabela 9 - Coeficientes com o respectivos desvios padrão fornecidos pelo Regressão de Poisson para o poluente PM _{2,5} e as internações em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	50
Tabela 10 - Coeficientes com o respectivos desvios padrão fornecidos pelo Regressão de Poisson para o poluente PM _{2,5} e CO e as internações em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	50
Tabela 11 - Valores do Risco Relativo (RR) de internação pelas doenças específicas, Desvio Padrão (DP) e Intervalo de Confiança (IC), após à exposição ao PM _{2,5} para as defassagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	51
Tabela 12 - Valores do Risco Relativo (RR) de internação pelas doenças específicas, Desvio Padrão (DP) e Intervalo de Confiança (IC), após à exposição ao PM _{2,5} e CO para as defassagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCATT-BRAMS	<i>Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport Model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DATASUS	Departamento de Informática do SUS
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
OMS	Organização Mundial de Saúde
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PM ₁₀	Material Particulado com partículas menores ou iguais a 10µm
PM _{2,5}	Material Particulado com partículas menores ou iguais a 2,5µm
CO	Monóxido de Carbono
O ₃	Ozônio
SO ₂	Dióxido de Enxofre
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
RR	Risco Relativo
SUS	Sistema Único de Saúde
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. JUSTIFICATIVA	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1 PRINCIPAIS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS	20
4.2 FATORES ASSOCIADOS, PRINCIPAIS CAUSAS E EPISÓDIOS NO MUNDO	22
4.3 PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E O SEU EFEITO NA SAÚDE	25
4.4 MECANISMOS DE AÇÃO DOS POLUENTES NO APARELHO RESPIRATÓRIO: PENETRAÇÃO NO SISTEMA RESPIRATÓRIO E FISIOPATOLOGIA	28
4.5 ASSOCIAÇÃO DE POLUENTES COM INTERNAÇÕES	30
4.6 MODELO NUMÉRICO AMBIENTAL CCATT-BRAMS	33
4.6.1. PARAMETRIZAÇÃO DE EMISSÃO DE FONTE	35
4.6.2. CONFIGURAÇÃO DO MODELO, CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO	36
4.6.3. COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO COM DADOS OBSERVACIONAIS E DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA A ÉPOCA SECA DE 2002	36
5. MATERIAL E MÉTODO	37
5.1. LOCAL DE ESTUDO	37
5.2. METODOLOGIA	39
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1. INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS	43
6.2. CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	44
6.3. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	46
6.4. DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS VARIÁVEIS EM ANÁLISE	47

6.5. COEFICIENTES DA REGRESSÃO DE POISSON	50
6.6. RISCO RELATIVO DE INTERNAÇÃO	51
6.7. AUMENTO PERCENTUAL DO RR, DO NÚMERO DE ATENDIMENTOS E DOS CUSTOS AO SUS	56
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
8. CONCLUSÕES	61
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
10. APÊNDICE A	72

1. INTRODUÇÃO

Doenças respiratórias, consideradas aquelas com diagnósticos pertencentes ao capítulo X da Classificação Internacional de Doenças (CID -10), foram responsáveis por cerca de 5 mil internações em Cuiabá, MT, nos anos 2012 e 2013 e estas internações geraram despesas ao Sistema Único de Saúde (SUS) de aproximados R\$ 6 milhões (DATASUS, 2015).

Vários estudos recentes têm avaliado os efeitos adversos de poluentes do ar sobre a saúde da população, incluindo taxas de mortalidade, de internação e atendimentos emergenciais em hospitais, de doenças cardiovasculares, respiratórias e outras (SAMOLI et al., 2008; GUO et al., 2009; SIMKHOVICH et al., 2009; OUDIN et al., 2009; HALONEN et al., 2009; NASCIMENTO; FRANCISCO, 2013; GAVINIER; NASCIMENTO, 2014; NASCIMENTO et al., 2014). Alguns estudos demonstram que elevados níveis de poluição no ar aumentam as taxas de morbidade e mortalidade (SANTOS et al., 2008), em contraste com outros que não encontraram correlação (SLAUGHTER et al., 2005; ROMAN et al., 2015).

Outros estudos têm demonstrado que os níveis de poluição do ar, geralmente representado pelas concentrações dos poluentes Material Particulado com partículas menores ou iguais a $10\mu\text{m}$ (PM_{10}), Material Particulado com partículas menores ou iguais a $2,5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Dióxido de Enxofre (SO_2), Ozônio (O_3) e partículas com diâmetro menor que $100\mu\text{m}$, estão associados com o aumento a curto-prazo de atendimentos em emergências decorrentes de problemas respiratórios (TOLBERT et al., 2007; KNOL et al., 2009; STIEB et al., 2009). Para Leitte et al. (2011), as concentrações de NO_2 permitem melhor avaliar os efeitos de uma mistura de poluentes atmosféricos sobre a saúde respiratória, do que as partículas de PM_{10} .

Excelente revisão de autoria de Arbex et al. (2012) discute a fontes principais destes poluentes bem como os efeitos no aparelho respiratório.

Também há estudos que apontam queimadas como responsáveis por danos à saúde e que têm sido publicados no Brasil (IGNOTTI et al., 2010a; IGNOTTI et al., 2010b; OLIVEIRA et al., 2011a; NASCIMENTO; MEDEIROS, 2012; CÉSAR et al., 2013).

Estes poluentes costumam ser quantificados por estações medidoras de agências ambientais estaduais. No entanto, não são todos os estados que têm agências ambientais e mesmo assim, as estações medidoras não quantificam todos os poluentes. Uma opção seria o uso de modelos matemáticos que estimam as concentrações dos poluentes do ar. Um exemplo deste modelo é o CCATT-BRAMS (LONGO et al., 2007), que considera a dinâmica atmosférica

e estima valores das concentrações de $PM_{2,5}$ que representa cerca de 60% a 70% da quantidade de PM_{10} (GOMISCEK et al., 2004).

Utilizando as análises das concentrações dos poluentes ambientais é possível ter uma perspectiva da influência deles nas doenças respiratórias no município Cuiabá, MT.

Cuiabá é um município brasileiro, capital do estado de Mato Grosso, com uma população de quase 600 mil habitantes (IBGE, 2015), sendo relatadas ocorrências sazonais de queimadas.

O estudo proposto terá a possibilidade de fornecer dados para o Sistema de Saúde Pública e para o Setor financeiro do Brasil, tentando auxiliar no controle da poluição atmosférica e, conseqüentemente, na prevenção das internações associadas a doenças respiratórias.

Por isso, o objetivo deste trabalho é identificar a associação entre exposição ao material particulado fino e internações por doenças respiratórias na população de Cuiabá, MT, com o uso do modelo linear generalizado de Regressão de Poisson.

2. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste estudo irá favorecer na tomada de decisões para a diminuição da poluição ambiental por parte dos governos dos estados afetados pelas queimadas contribuindo com a gestão ambiental e a sustentabilidade nessas regiões.

As doenças respiratórias foram responsáveis por perto de 5 mil internações em Cuiabá, MT, nos anos 2012 e 2013, e estas internações geraram despesas ao Sistema Único de Saúde (SUS) de aproximados R\$ 6 milhões (DATASUS, 2015).

Devido a que em Cuiabá, onde entre 2012 e 2013 foram detectados 733 focos de queimada pelo Sistema de Informações Ambientais (SISAM), existem poucos estudos abordando esta temática.

Inexistência de estações medidoras de poluentes do ar em Cuiabá, MT.

A identificação de associação entre as concentrações de $PM_{2,5}$ e internações por doenças respiratórias em Cuiabá terá importante contribuição na tentativa de diminuir a ocorrência de queimadas e emissões de poluentes do ar no município e também no estado.

Neste estudo propõe-se estimar o papel da exposição a poluentes do ar nas internações por doenças respiratórias em Cuiabá, MT. Os valores das concentrações desses poluentes serão fornecidos pelo modelo matemático CCATT-BRAMS.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em identificar a associação entre exposição ao particulado fino e monóxido de carbono, e as internações por doenças respiratórias na população de Cuiabá, MT, utilizando dados estimados pelo modelo matemático (CCATT-BRAMS).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar as taxas de internações por doenças respiratórias (Banco de dados do Sistema Único de Saúde)-DATASUS, focando a análise em dados de internações concernentes às doenças: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva crônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), de 01 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2013.
- Estimar e avaliar as concentrações de material particulado fino (PM_{2,5}) e monóxido de carbono (CO) do município estudado, neste período.
- Calcular o risco relativo de internação devido à exposição aos poluentes do ar e o efeito do acréscimo na concentração de PM_{2,5} no número de internações hospitalares, além da associação entre a exposição aos poluentes e as internações utilizando técnicas estatísticas como, o Modelo Linear Generalizado de Regressão de Poisson.
- Estimar o número e o custo das internações com aumento ou diminuição da concentração do PM_{2,5}.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. PRINCIPAIS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Nos últimos anos, as doenças respiratórias têm atingido fortemente à população brasileira, só no ano 2013, aproximadamente 1 milhão de internações foram registradas pelo SUS, provocando cerca de 140 mil óbitos e trazendo um custo de mais de R\$ 950 milhões ao país (DATASUS, 2015).

Por se tratar de um sistema orgânico importante e ao mesmo tempo delicado, existem doenças que atacam o sistema respiratório, sejam elas infecciosas ou alérgicas. As concentrações de poluentes atmosféricos, encontradas principalmente em grandes cidades, acarretam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar. A maior incidência de doenças, tais como asma, bronquite, sinusite, rinite, pneumonia, enfisema pulmonar, entre outras, está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos (FREITAS et al., 2016).

A mortalidade por doenças do sistema respiratório em Cuiabá, MT, durante os anos 2012 e 2013, segundo os dados obtidos do Sistema Único de Saúde, alcançou os 473 óbitos, apresentando uma forte associação com a poluição atmosférica; os padrões de qualidade do ar são inadequados e atingem às populações mais vulneráveis, sendo estas as crianças, idosos e aquelas que apresentam doenças respiratórias (SILVA et al., 2010).

Material particulado inalável, com dimensão inferior a 10 µm e mais recentemente 2,5 µm, é apontado como o poluente mais frequentemente relacionado com danos à saúde, não só com doenças respiratórias, a mortalidade por doenças cardiovasculares também tem sido relacionada à poluição atmosférica urbana, sendo novamente o material particulado inalável o poluente frequentemente associado (NASCIMENTO et al., 2016; FREITAS et al., 2016).

Segundo Braga et al. (2001), as mortes fetais e o aumento na mortalidade respiratória em crianças e pessoas com mais de 65 anos, estão positivamente associadas às concentrações de poluentes do ar, promovendo aumento nas consultas de pronto-socorro e nas internações por doenças respiratórias e cardiovasculares.

Os diagnósticos mais comuns, dentro das doenças respiratórias que pertencem à Classificação Internacional de Doenças 10ª revisão (CID-10, 2007), correspondentes aos códigos J-00 a J-99; são os seguintes:

Asma (J45.0 - J45.9)

Asma é uma doença inflamatória crônica das vias aéreas. Quando as vias aéreas inflamadas são expostas a vários estímulos ou fatores desencadeantes tornam-se hiperreativas e

obstruídas, limitando o fluxo de ar através de bronco-constricção, produção de muco e aumento da inflamação.

Bronquite (J20.0 - J21.9)

A bronquite é a inflamação nos brônquios, diferente da asma, pode ser causada por vírus e bactérias, sendo possível ser totalmente tratada.

Devido a uma longa exposição ao cigarro (principal causador) e poluição do ar, por exemplo, a mucosa dos brônquios sofre uma alteração, desregulando a produção de muco e inflamando os bronquíolos.

Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) - (J44.0 - J44.9)

A doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é uma doença crônica, progressiva e parcialmente reversível que acomete os pulmões e tem como principais características a destruição dos alvéolos e o comprometimento dos demais órgãos. Ocorre com mais frequência em homens mais velhos e fumantes. Pessoas que tiveram tuberculose também podem desenvolver a doença.

Faringite (J31.1 – J31.2) e Laringite (J04.0 - J04.9)

Faringite refere-se a uma infecção ou a uma simples inflamação da faringe (região anatômica que conecta a boca e o nariz à laringe e ao esôfago), ou da laringe (onde estão as cordas vocais) e as áreas próximas. Elas podem ser sintomas de resfriado, bronquite, ou até mesmo pneumonia (dentre outras infecções respiratórias). Se não cuidada pode ocasionar problemas sérios como tumor maligno que atinge as cordas vocais ou a parte superior às cordas.

Pneumonia (J12.0 - J18.9)

A pneumonia é um processo de infecção/inflamação que ocorre dentro dos pulmões. A doença ocorre quando um agente infeccioso (vírus, bactéria, parasita ou fungo) afeta os alvéolos pulmonares, local que precisa estar sempre limpo, livre de qualquer substância estranha, pois é onde ocorre as trocas gasosas.

Sinusite (J01.0 – J01.9)

A sinusite é uma doença inflamatória que atinge as mucosas dos seios da face, que são cavidades existentes ao redor do nariz.

As causas mais comuns são resfriado ou gripes frequentes, umidade relativa do ar baixa, desvio de septo, ou processos alérgicos. A sinusite pode ser caracterizada como aguda ou crônica.

Rinite (J30.0 – J31.9)

A rinite é uma reação exagerada do corpo a determinados elementos que não são agressivos ao corpo.

Enfisema Pulmonar (J98.2 – J98.4)

O enfisema pulmonar é uma doença respiratória que afeta o pulmão progressivamente, destruindo os alvéolos pulmonares, onde ocorre a troca gasosa do oxigênio pelo dióxido de carbono. Quase todos os casos estão associados ao hábito de fumar.

Por estar diretamente ligada ao fumo, quanto mais cedo começa-se a fumar, mais cedo a doença surge. O enfisema pode ser controlado, porém nunca revertido.

4.2. FATORES ASSOCIADOS, PRINCIPAIS CAUSAS E EPISÓDIOS NO MUNDO

Com o desenvolvimento do homem, um dos elementos da natureza mais agredidos tem sido o ar. Mesmo sendo indispensável para a vida, pelo fato de ser abundante, invisível e inodoro não recebeu maiores atenções. Porém ao longo da história foi mudando as suas características.

A descoberta do fogo, aproximadamente 800 mil anos antes de Cristo, o homem, de um jeito inconsciente, inicia o processo de comprometimento da qualidade do ar, e também começa a sofrer o efeito na sua saúde. O uso do carvão como combustível foi comprometendo a qualidade do ar na era pré-cristã e continuou na pós-cristã, na qual a situação foi piorando com a Revolução Industrial a partir da metade do século XVIII, onde toneladas de poluentes começaram a ser jogados na atmosfera das grandes cidades Industriais da Europa com a queima do carvão mineral (BRAGA et al., 2001).

A poluição do ar tem sido um grave problema nos centros urbanos industrializados desde a primeira metade do século XX, com a presença cada vez maior dos automóveis que vieram a somar com as indústrias como fontes poluidoras. Episódios de poluição excessiva causaram aumento do número de mortes em algumas cidades da Europa e Estados Unidos (SOUSA et al., 2010).

Entre esses episódios é possível mencionar o que ocorreu em 1930, no Vale de Meuse, Bélgica, entre as cidades de Huy e Liège, uma região com grande concentração de indústrias. Nos cinco primeiros dias do mês de dezembro, condições meteorológicas desfavoráveis impediram a dispersão dos poluentes aumentando o número de doenças respiratórias e um excesso de mortes. Alguns anos após, ocorreu uma coisa semelhante, durante os últimos cinco dias do mês de outubro de 1948 na cidade de Donora, Pensilvânia. Os produtos da combustão das indústrias locais permaneceram sobre a cidade devido à ocorrência de inversões térmicas

que impediram a dispersão desses poluentes; mas o mais clássico e mais grave dos episódios acerca dos efeitos deletérios dos poluentes do ar foi o acontecido em Londres. Durante o inverno de 1952, mais um fenômeno de inversão térmica levou a um aumento de quatro mil mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes (BRAGA et al., 2001).

As pesquisas sobre poluição do ar começaram na Califórnia, criando uma fundação técnica de meteorologia com o objetivo de divulgar estudos sobre poluição. A Califórnia foi o primeiro estado a adotar uma lei de poluição do ar nos EUA em 1947 (BOUBEL, 1994).

Esses trágicos episódios direcionaram os olhos dos pesquisadores para a necessidade de se buscar o controle da emissão de poluentes do ar. Em 1955, o Congresso norte-americano liberou cinco milhões de dólares para a realização de estudos sobre o impacto da poluição atmosférica sobre a saúde e a economia. A partir do início da década de 60, foi criado um programa federal de poluição atmosférica, ligado ao Departamento de Saúde, Educação e Bem-Estar Social dos Estados Unidos. Esse programa delegou a responsabilidade do controle da emissão dos diversos poluentes atmosféricos aos estados da Federação, ficando a cargo do governo federal somente o estabelecimento das diretrizes necessárias para efetuar e viabilizar esse controle. Em Nova York, durante quatro dias de novembro de 1966, foram necessárias oito mortes e forte pressão da mídia para que se decretasse estado de emergência. Diante desses novos episódios, os Estados Unidos estabeleceram padrões de qualidade do ar, especificando os seis poluentes atmosféricos que seriam controlados: partículas totais, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e chumbo (Pb). A fim de efetivar esse controle, criou-se a Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA). Em 1991, aproximadamente 87 milhões de pessoas nos Estados Unidos permaneciam expostas a níveis superiores aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação norteamericana (BRAGA et al., 2001).

Na Inglaterra, após o grave episódio ocorrido em 1952, somente em 1956, o Parlamento inglês obrigou à troca do sistema a carvão por eletricidade, gás ou óleo diesel nas residências, e forneceu os subsídios necessários para a mudança dos sistemas de calefação para esses tipos de combustível (SOUSA et al., 2010).

Em 1976, a comissão de países europeus (*Comission of the European Communities – CEC*) também estabeleceu padrões de qualidade do ar para SO₂, CO, NO₂, material particulado e oxidantes fotoquímicos.

Na segunda metade do século XX, inúmeros países periféricos economicamente, ávidos por novas fontes de recursos e desenvolvimento, receberam indústrias multinacionais de produtos de base, principalmente na área petroquímica. Isso originou outros episódios

envolvendo o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos. Bhopal, na Índia, ilustra um desses episódios, talvez o mais dramático, ocorrido na década de 80. Na noite de 3 de dezembro de 1984, um grande vazamento de metilisocianato (MIC) proveniente da Union Carbide, indústria localizada próxima à cidade, causou a morte de, pelo menos, 1.700 pessoas devido a um intenso edema pulmonar (acúmulo de líquido no pulmão). Além das mortes, milhares de pessoas ficaram com sequelas graves, como o comprometimento irreversível da função do pulmão (BRAGA et al., 2001).

No Canadá, em 1988 ocorreu em Toronto a primeira reunião entre governantes e cientistas sobre mudanças climáticas, durante a qual os cientistas advertem que, para estabilizar os crescentes níveis de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera seria necessário reduzir as emissões em 60%. Em 1992, no Brasil (Rio de Janeiro), representantes de quase todos os países do mundo se reuniram para decidir as medidas a tomar para diminuir a degradação ambiental e garantir a existência de outras gerações durante a ECO – 92 (Rio – 92). A intenção nesse encontro, era introduzir a ideia do desenvolvimento sustentável, um modelo de crescimento econômico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico. Esses encontros continuaram com uma reunião em 1997 na cidade de Kyoto, Japão, que estabeleceu metas para a redução da emissão de gases poluentes que intensificam o aquecimento global, com destaque para o CO₂ (SOUSA et al., 2010). Outros encontros ocorreram, sendo que a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, que foi realizada de 13 a 22 de junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro, foi o mais recente. Vinte anos após a Cúpula da Terra de 1992, no Rio, a ONU novamente reuniu governos e instituições internacionais para acordar uma série de medidas inteligentes que pudessem reduzir a pobreza e, ao mesmo tempo, promover o trabalho decente, energia limpa e o uso mais justo e sustentável dos recursos, contribuindo com a definição da agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas.

O rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que as fontes móveis ou veiculares se tornassem um problema de grande magnitude, devido ao número e estado de conservação desses veículos, muitas vezes sem o controle necessário quanto à qualidade do combustível, dos motores e mecanismos de filtragem dos gases emitidos pelos mesmos.

É importante ressaltar que nos países desenvolvidos, o número de estudos sobre poluição atmosférica e seus efeitos à saúde tem crescido vertiginosamente ao longo das últimas décadas. O conhecimento científico adquirido tem influenciando e muito nas políticas públicas de controle ambiental nesses países.

4.3. PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E O SEU EFEITO NA SAÚDE

Na composição do ar necessário para garantir a vida no nosso planeta, é possível encontrar componentes que, em concentrações elevadas, podem-se tornar prejudiciais para a saúde humana; entre os mesmos se acham os seguintes:

Material Particulado

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. O tamanho das partículas é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico, definido como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão (GOMISCEK et al., 2004).

Em geral, as partículas podem ser divididas em dois grupos: partículas grandes, com diâmetro entre 2,5 e 30 μm de diâmetro, também chamadas “tipo grosseiro” (*coarse mode*), de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre, que apresentam características básicas, contendo silício, titânio, alumínio, ferro, sódio e cloro. Pólen e esporos, materiais biológicos, também se encontram nesta faixa; partículas derivadas da combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoelétricas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que 2,5 μm (*fine mode*) e têm maior acidez, podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas. Entre seus principais componentes temos carbono, chumbo, vanádio, bromo e os óxidos de enxofre e nitrogênio, que na forma de aerossóis (uma estável mistura de partículas suspensas em um gás), são a maior fração das partículas finas (SLAUGHTER et al., 2005).

É oportuno salientar que a determinação da Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) para controle de partículas menores ou iguais a 10 μm (PM_{10}), também chamadas de partículas inaláveis, se baseou no fato de que estas são as partículas que podem atingir as vias respiratórias inferiores, e não na sua composição química. Este material particulado inalável apresenta uma característica importante que é a de transportar gases adsorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão. À medida que vão se depositando no trato respiratório, estas partículas passam a ser removidas por alguns mecanismos de defesa. O primeiro deles é o espirro, desencadeado por grandes partículas que, devido ao seu tamanho, não conseguem ir além das narinas, onde acabam se depositando. A tosse é um mecanismo semelhante que acontece quando há a invasão do trato respiratório inferior (além da laringe) por partículas. Quando as partículas se depositam na superfície das células do trato respiratório, um outro mecanismo de defesa entra em

funcionamento: o aparelho muco-ciliar. Fazem parte da superfície do aparelho respiratório células com cílios e células secretoras de muco. Os cílios permanecem constantemente em movimento, no sentido do pulmão para a boca, empurrando o muco para fora do trato respiratório. As partículas que se depositam sobre o muco também são carregadas. Aquelas partículas que atingem as porções mais distais das vias aéreas são fagocitadas pelos macrófagos alveolares, sendo então removidas via aparelho muco-ciliar ou sistema linfático (NASCIMENTO; MEDEIROS, 2012).

Monóxido de Carbono (CO)

O CO tem como fontes antropogênicas: queimadas florestais, combustão incompleta de combustíveis fósseis ou outros materiais orgânicos e transportes rodoviários. O setor que mais contribui para as emissões desse poluente são as áreas urbanas com tráfego intenso. Também tem fontes naturais: erupções vulcânicas e decomposição da clorofila (ARBEX et al., 2012).

Com exceção dos fumantes, que possuem suas próprias fontes emissoras de CO, os demais habitantes dos grandes centros urbanos têm no trânsito intenso a sua maior fonte deste poluente, pois o automóvel é a maior fonte de emissão deste poluente. Pessoas que passam várias horas do dia dentro de um automóvel, ou que tenham que andar a pé ou de bicicleta são os mais afetados. Porém os ambientes internos, como residências e escritórios podem vir a sofrer os efeitos do CO proveniente do ambiente externo que entra pelo sistema de ventilação, ou que é produzido localmente por aquecedores a óleo, fumantes, churrasqueiras e fogão a gás (CASTRO et al., 2009).

A determinação dos níveis de carboxihemoglobina no sangue pode servir para avaliar exposição individual, uma vez que pessoas saudáveis e não fumantes, residentes em áreas de grande concentração ambiental de CO, apresentam um aumento de até 100% nos níveis de carboxihemoglobina quando comparados a pessoas saudáveis e não fumantes que não estão expostas aos níveis de CO dos grandes centros urbanos (STEWART et al., 2013).

O monóxido de carbono apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que a do oxigênio (WHO, 2005), o que faz com que uma pequena quantidade de CO possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo a capacidade do sangue de transportar O₂. Atua também, desviando a curva de dissociação da hemoglobina para a esquerda levando a uma diminuição da liberação de O₂ nos tecidos (CANÇADO et al., 2006).

Ozônio (O₃)

O ozônio presente na troposfera, a porção da atmosfera em contato com a crosta terrestre, é poluente secundário formado por uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioleta) envolvendo, como precursores, óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos, derivados de fontes de combustão móveis, como os veículos automotivos, de fontes estacionárias, como usinas termoelétricas, e até mesmo fontes naturais como as árvores, que contribuem na produção de compostos orgânicos voláteis (TOLBERT et al., 2007).

Os níveis de ozônio aumentam consideravelmente entre o fim da primavera e o começo do outono, em regiões periféricas de grandes centros urbanos, localizadas nas direções em que sopram os ventos. Caracteristicamente, seus picos de concentração ocorrem no meio da manhã, algumas horas após o rush matinal do trânsito (nível máximo de emissão de óxidos de nitrogênio), atingindo seu ápice no meio da tarde e declinando à noite. As concentrações de ozônio nos ambientes externos são maiores que nos interiores dos edifícios, porém esta diferença pode diminuir dependendo do tipo de ventilação do local analisado. Como fonte domiciliar de ozônio podem ser citados os purificadores de ar, enquanto nos escritórios pode haver máquinas de fotocópias. O ozônio é um potente oxidante, citotóxico (provoca lesão das células), que atinge as porções mais distais das vias aéreas (TOLBERT et al., 2007).

Dióxido de Enxofre (SO₂) e Aerossóis Ácidos

Dióxido de enxofre é resultado da combustão de elementos fósseis, como carvão e petróleo, tem como fontes principais os automóveis e termoelétricas, e também por fontes naturais: atividade vulcânica. Uma vez lançado na atmosfera, o SO₂ é oxidado, formando ácido sulfúrico (H₂SO₄). Esta transformação depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e absorção do gás na superfície das partículas. A permanência no ar por um período grande de tempo faz com que o SO₂ e seus derivados (aerossóis ácidos) sejam transportados para regiões distantes das fontes primárias de emissão, aumentando a área de atuação destes poluentes (LEITTE et al. 2011).

O SO₂ é altamente solúvel em água à 30°C. A maior parte do SO₂ inalado por uma pessoa em repouso é absorvida nas vias aéreas superiores. Atividade física leva a um aumento da ventilação, com conseqüente aumento da absorção nas regiões mais distais do pulmão. Sua eliminação se faz, basicamente, de dois modos: pela expiração, principalmente através das narinas, e pela urina, com a eliminação na forma de sulfato e éster sulfato, de uma parte do SO₂ inalado dissolvido nas gotas de água presente na atmosfera, encontra os aerossóis ácidos mais comuns: sulfato (SO₄⁻) e bissulfato (HSO₄⁻). O ácido sulfúrico (H₂SO₄) é o aerossol ácido mais

irritante para o trato respiratório, apresentando pH menor que um. O ácido sulfúrico e seus sais de amônia constituem a maior parte das partículas finas (NASCIMENTO et al., 2006; CÉSAR et al., 2013).

Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

As principais fontes de óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) são os motores dos automóveis. As usinas termoelétricas e indústrias que utilizam combustíveis fósseis contribuem em menor escala. Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio (NO_x). Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio (O₂), ozônio e hidrocarbonetos, o NO se transforma em NO₂. Por sua vez, NO₂ na presença de luz do sol, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O₃), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera. Ao contrário de outros poluentes, as concentrações de NO₂ nos ambientes internos estão intimamente relacionadas com as concentrações externas, uma vez que este poluente se difunde com muita facilidade de fora para dentro das edificações através de mecanismos de ventilação. A isto se soma o fato de existirem várias fontes de NO₂ e outros óxidos de nitrogênio (NO_x) dentro das residências, como fogões a gás, aquecedores que utilizam querosene (mais freqüente em regiões frias) e o cigarro. O NO₂, quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade. Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante (LEITTE et al., 2011).

4.4. MECANISMOS DE AÇÃO DOS POLUENTES NO APARELHO RESPIRATÓRIO: PENETRAÇÃO NO SISTEMA RESPIRATÓRIO E FISIOPATOLOGIA

As partículas totais em suspensão (PTS) e o material particulado com menos de 10µm de diâmetro (PM₁₀) entram no aparelho respiratório e ficam no nariz, garganta, traqueia, brônquios e bronquíolos. Já o material particulado com menos de 2,5µm e 0,1µm de diâmetro (PM_{2,5} e PM_{0,1} respectivamente), chegam a atingir alvéolos, tecido pulmonar e corrente sanguínea. A ação desses poluentes diminui a atividade mucociliar e dos macrófagos. Produz irritação nas vias respiratórias. Causa estresse oxidativo e, em consequência, inflamação pulmonar e sistêmica. A exposição crônica produz remodelamento brônquico e DPOC, podendo ser cancerígeno (ARBEX et al., 2012).

O monóxido de carbono (CO) atinge alvéolos e chega à corrente sanguínea onde pela afinidade com a hemoglobina, interfere no transporte de oxigênio. Provoca cefaleia, náuseas e

tontura. Tem efeito deletério sobre o feto. Está associado com recém-nascidos de baixo peso e morte fetal (ARBEX et al., 2012).

O ozônio (O₃) atinge a traquéia, brônquios, bronquíolos e alvéolos. É um agente oxidante fotoquímico e muito irritante que provoca inflamação da mucosa do trato respiratório. Em altas concentrações, irrita os olhos, mucosa nasal e da orofaringe, provoca tosse e desconforto torácico. A exposição por várias horas leva a lesão no tecido epitelial de revestimento das vias aéreas, provocando inflamação e obstrução das vias aéreas por estímulos como o frio e exercícios (ARBEX et al., 2012).

O dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio (NO_x) atingem a traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos. São irritantes e afetam a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório inferior, aumenta a reatividade brônquica e a suscetibilidade às infecções e aos alérgenos. O NO₂ é considerado um bom marcador da poluição veicular (ARBEX et al., 2012).

O dióxido de enxofre (SO₂) atinge as vias aéreas superiores, traqueia, brônquios e bronquíolos. É irritante, afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório. Causa tosse e aumenta a reatividade brônquica, facilitando a broncoconstrição (ARBEX et al., 2012).

Os valores nas concentrações desses poluentes e o seu efeito na saúde humana, são catalogados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em cinco níveis: N1- Boa; N2- Moderada; N3- Ruim; N4- Muito Ruim e N5- Péssima. (Tabela 1)

Tabela 1 - Valores dos limites no índice de qualidade do ar segundo a Organização Mundial da Saúde (2013)

Qualidade	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂
	(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 8h	(ppm) 8h	(µg/m ³) 1h	(µg/m ³) 24h
N1 - Boa	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3- Ruim	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4- Muito Ruim	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365-800
N5- Péssima	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: CETESB (2013)

4.5. ASSOCIAÇÃO DE POLUENTES COM INTERNAÇÕES

Nas pesquisas realizadas no mundo todo, e mais especificamente no Brasil, evidenciam a grande associação existente entre os níveis de poluição no ar e as internações por doenças respiratórias nos centros hospitalares; apresentando uma relação direta entre o aumento nas concentrações de poluentes específicos e o aumento das internações mencionadas.

A poluição atmosférica encontra-se presente nos mais diferentes cenários ao longo dos últimos 250 anos, desde que a Revolução Industrial acelerou o processo de emissão de poluentes que, até então, estava limitado ao uso doméstico de combustíveis vegetais e minerais e às emissões vulcânicas intermitentes. Hoje, aproximadamente 50% da população do planeta vive em cidades e aglomerados urbanos e estão expostas a níveis progressivamente maiores de poluentes do ar. Foi feita uma revisão não sistemática sobre os diferentes tipos e fontes de poluentes do ar e os efeitos respiratórios atribuídos à exposição a esses contaminantes. Podem ser creditados aos poluentes particulados e gasosos, emitidos por diferentes fontes, aumentos nos sintomas de doenças, na procura por atendimentos em serviços de emergência e no número de internações e de óbitos. Mais do que descompensar doenças pré-existentes, exposições crônicas têm ajudado a aumentar o número de casos novos de asma, de DPOC e de câncer de pulmão, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, fazendo com que os poluentes atmosféricos rivalizem com a fumaça do tabaco pelo papel de principal fator de risco para estas doenças (ARBEX et al., 2012).

Uma revisão não sistemática feita por Gonçalves et al. (2012), apresenta os trabalhos desenvolvidos nos últimos cinco anos sobre as queimadas na Amazônia Brasileira e o adoecimento respiratório; concluindo que a queima de biomassa florestal popularmente conhecida como “queimada” é uma prática recorrente e antiga no país e se caracteriza como um dos principais contribuintes mundiais para a emissão de gases de efeito estufa. Entretanto, a consciência global sobre seus possíveis impactos é relativamente recente. A ocorrência de grandes queimadas no cenário brasileiro e internacional despertou a atenção para o problema, mas as medidas tomadas para prevenir e/ou controlar os incêndios ainda são insuficientes. Na região amazônica, com circunstâncias geográficas e ambientais distintas do resto do país, aliadas a um processo histórico de ocupação do território, o uso do fogo expõe a cada ano, parcelas maiores da população tornando-as vulneráveis aos seus efeitos.

Ignotti et al. (2010a), avaliaram o efeito da variação diária nas concentrações de PM_{2,5} originário da queima de biomassa sobre o número diário de hospitalizações de crianças e idosos por doenças respiratórias, em Alta Floresta e Tangará da Serra, Amazônia brasileira, em 2005.

Fizeram um estudo ecológico de séries temporais de hospitalizações por doenças respiratórias de crianças e de idosos, estimativas de concentrações diárias de $PM_{2,5}$, variáveis meteorológicas e de calendário, encontrando aumentos percentuais significantes no risco relativo de internações por doenças respiratórias em crianças, para o ano todo e para o período de seca, com defasagens de 3-4 dias, e para idosos foram significantes para o dia corrente de exposição aos poluentes no período de seca.

As mudanças climáticas podem afetar o futuro das concentrações de ozônio troposférico e de partículas totais em suspensão (TPS), significando um grande risco para a saúde da população. Analisaram-se estudos que projetam os impactos das mudanças climáticas na qualidade do ar e morbidade/mortalidade. A mudança climática pode afetar a qualidade do ar local e regional com mudanças nas taxas de reações químicas, altura das camadas limites que afetam a mistura vertical de poluentes e mudanças nos padrões sinóticos de circulação atmosférica que gerenciam o transporte de poluentes. Dentre as fontes de incerteza, a mudança climática futura, emissões de poluentes do ar e seus precursores, vão influir na vulnerabilidade da população. Devido às incertezas, as projeções sugerem que as mudanças climáticas aumentarão as concentrações de ozônio troposférico pelo menos nos países de alta renda, onde as emissões precursoras de ozônio são constantes, resultando em maior morbidade/mortalidade. Para os países de baixa e média renda, há poucas projeções. A evidência é menor para PS, pois há poucos estudos. É preciso mais pesquisa para compreender os possíveis impactos da mudança climática nos impactos à saúde relacionados à poluição do ar (EBI; MCGREGOR, 2009).

A constatação de que os atuais níveis de poluição atmosférica são suficientes para causar danos à saúde, torna imprescindível a definição de processos reguladores para a qualidade do ar. Foi analisada a associação entre exposição à poluição atmosférica e internações hospitalares no município de São Paulo, Brasil, visando subsidiar a elaboração de medidas para redução dos riscos à saúde. Realizou-se um estudo ecológico de séries temporais, analisando hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares em crianças e idosos em relação aos níveis diários observados de poluentes, por meio de modelos aditivos generalizados em regressão de Poisson. Todos os poluentes, com exceção do ozônio, apresentaram associação significativa com internações respiratórias e cardiovasculares (GOUVEIA et al., 2006).

Lopes e Ribeiro (2006), construíram um Sistema de Informações Geográficas (SIG), para verificar a possível correlação entre os produtos das queimadas de cana-de-açúcar e a incidência de problemas respiratórios em regiões afetadas, através das técnicas de geoprocessamento. Organizaram dados de queimadas e internações por afecções respiratórias do Estado de São

Paulo, no período de 2000 a 2004, estruturando um SIG em duas escalas. Na primeira, foram criadas cartas temáticas de todo o estado e identificadas áreas de interesse para estudos em escala local. A segunda consistiu na construção de SIG abrangendo a meso-região de Bauru, para observar a intersecção dos agravos à saúde em áreas de queimada. Nos mapas elaborados e numa análise de correlações espaciais, observou-se uma incidência muito maior de doenças respiratórias em regiões onde há prática de queimadas.

A poluição atmosférica é um importante problema de saúde pública, principalmente na Amazônia e grandes cidades brasileiras. Em setembro de 2005, observou-se elevada concentração de fumaça em Rio Branco, Acre, devido às queimadas; avaliando a relação entre a concentração diária de material particulado $< 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) e o número de atendimentos diários de emergência por doença respiratória (MASCARENHAS et al., 2008).

Foi avaliado o impacto da poluição do ar nas internações por doenças respiratórias e cardiovasculares em residentes do município de Cubatão, São Paulo, Brasil. Utilizaram-se modelos de séries temporais, com modelos aditivos generalizados, em regressão de Poisson, testando como variáveis independentes as concentrações diárias de material particulado (PM_{10}); dióxido de enxofre (SO_2) e ozônio (O_3). Como variáveis de controle a temperatura, umidade, dias da semana e feriados. Para cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , calcularam um excesso de internações de 4,25% (IC95%: 2,82; 5,71); 5,74% (IC95%: 3,80; 7,71) e 2,29% (IC95%: 0,86; 3,73) para doenças respiratórias totais, doenças respiratórias em menores de 5 anos e doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos, respectivamente. O SO_2 apresentou relação com as doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos de 3,51% (IC95%: 1,24; 5,83) e o O_3 com as doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos: 2,85% (IC95%: 0,77; 4,98) e doenças respiratórias em menores de 5 anos: 3,91% (IC95%: 1,37; 6,51) (NARDOCCI et al., 2013).

César et al. (2013), realizaram um estudo ecológico de séries temporais com indicadores diários de internação por doenças respiratórias, em crianças de zero a dez anos de idade, residentes em Piracicaba, SP, identificando associação entre a exposição ao $\text{PM}_{2,5}$ com as internações. A exposição ao poluente constituiu risco de internação significativo para o lag 1 e para o lag 3. O incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ implicou aumento no risco relativo entre 7,9 e 8,6 pontos percentuais.

Um estudo desenvolvido por Souza et al. (2014), teve como objetivo analisar a associação entre concentrações dos poluentes atmosféricos e atendimentos diários por causas respiratórias em crianças. Fazendo um estudo ecológico de série temporal, foram analisadas as contagens diárias de admissões hospitalares de crianças < 6 anos e as concentrações diárias de

poluentes atmosféricos (PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ e CO), na Região da Grande Vitória, ES, de janeiro de 2005 a dezembro de 2010. Encontraram melhores resultados na estimativa do risco relativo e na qualidade do ajuste quando estimado por meio do modelo aditivo generalizado – análise de componentes principais-sazonal autorregressivo – com aumentos no valor do risco relativo de 3,0%, enquanto no modelo aditivo generalizado usual a estimativa foi de 2,0%.

Com o objetivo de analisar os efeitos da exposição de partículas finas de queimadas sobre as internações por doenças respiratórias em crianças e idosos; Silva et al. (2013) fizeram um estudo ecológico de série temporal em Cuiabá, estado de Mato Grosso, região da Amazônia brasileira, durante 2005. Níveis diários de material particulado fino PM_{2,5} foram estimados e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Variáveis relacionadas a temperatura, umidade relativa e ajustes por tendência temporal, sazonalidade e efeitos de calendário foram incluídos no modelo. Utilizou-se a Regressão de Poisson por modelos aditivos generalizados.

4.6. MODELO NUMÉRICO AMBIENTAL CCATT-BRAMS

Os estudos feitos sobre concentrações de poluentes nas diferentes regiões do mundo, utilizam dados obtidos das diferentes agências ambientais distribuídas em grande parte do planeta.

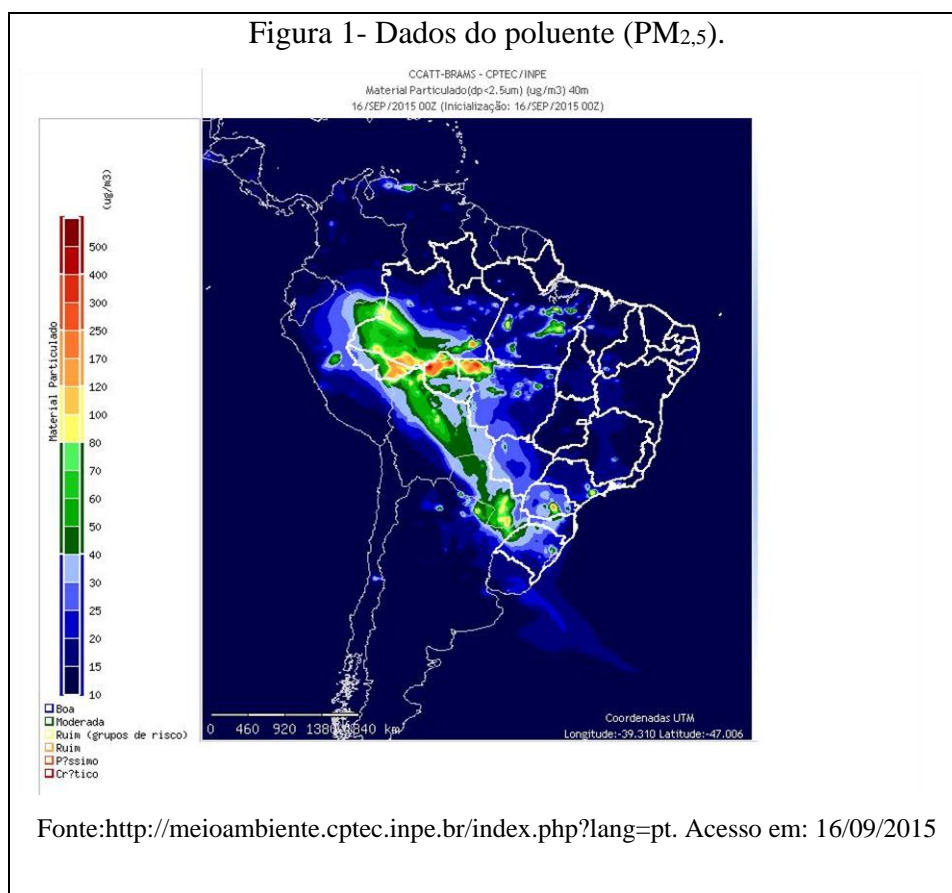
No caso de Cuiabá, MT, que não conta com agência local para obtenção dos dados dos poluentes, nossa pesquisa utilizou os dados estimados pelo Modelo Numérico Ambiental *Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (CCATT-BRAMS).

Um sistema de monitoramento operacional em tempo real foi implementado em 2003 usando o modelo de transporte 3D on-line. CCATT-BRAMS é um modelo numérico ambiental desenvolvido por Freitas et al. (2005, 2007) e Longo et al. (2006, 2007). Esse modelo é utilizado operacionalmente, desde 2003 pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) em uma base operacional (BRASIL, 2016).

O CCATT-BRAMS acopla o modelo CCATT de transporte de gases traço e aerossóis (FREITAS et al., 2006), a um modelo numérico e previsão de tempo BRAMS (FREITAS et al., 2007), e resolve em um determinado intervalo de tempo o termo de reatividade química. Esse modelo adota uma grade tridimensional que cobre regiões do globo terrestre com uma resolução

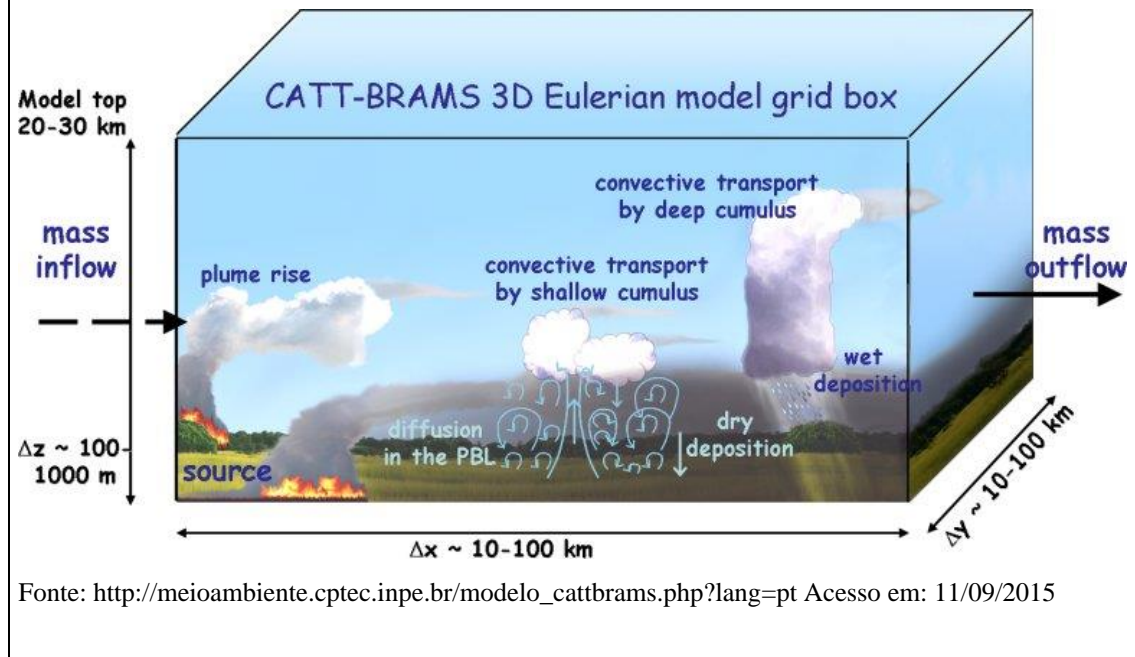
horizontal de 150, 30 e 15 km, composta por uma grade vertical especificada em níveis de pressão atmosférica e uma grade horizontal de latitudes e longitudes.

Na Figura 1 é apresentada a tela capturada da página do CPTEC/INPE –Material Particulado (PM_{2,5}), podendo-se observar focos importantes em grandes cidades como: Santiago de Chile, São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Belo Horizonte, e uma área intensamente poluída no norte e noroeste do Brasil.



Na Figura 2 são mostrados alguns processos simulados pelo CCATT-BRAMS, bem como uma parametrização radiativa adicional, que considera a interação entre partículas de aerossol e radiação de onda longa e curta, usando a aproximação rápida two-stream (TOON et al., 1989). O espalhamento e a absorção pelos aerossóis, calculados com o código Mie para esferas estratificadas (TOON; ACKERMAN, 1981), foram implementados. Enquanto um modelo dinâmico, derivado de três anos de propriedades óticas de dados recuperados de algumas das medidas dos sites AERONET (PROCOPIO et al., 2003), é usado para os aerossóis de fumaça.

Figura 2- Alguns dos processos sub-grades envolvidos no transporte de gases e aerossóis e simulados pelo modelo CCATT-BRAMS.



4.6.1 PARAMETRIZAÇÃO DE EMISSÃO DE FONTE

A parametrização da emissão de traçadores de queima da biomassa baseada no trabalho de Freitas (1999) foi implementada. A emissão da fonte de queima de biomassa para (CO , CO_2 , CH_4 , NO_x e $\text{PM}_{2.5}$) é baseada nos produtos de fogo GOES-12 WF_ABBA segundo Prins et al. (1998), GOES-12, AVHRR e nas observações de foco de incêndio do MODIS pelo CPTEC-INPE, e em observações de campo. Para cada fogo captado por sensoriamento remoto, a massa de traçadores emitidos é calculada e sua emissão do modelo segue um ciclo diurno de queima (taxa de emissão). O tipo de vegetação que está queimando é obtido do mapa de vegetação de 1km do IGBP-INPE, 2015. As fontes são distribuídas espacialmente e temporalmente, e assimiladas diariamente segundo os focos de queima de biomassa definidos pelas observações de satélite. As emissões de queima de biomassa são adicionadas às emissões de queimada agrícola e queima de lenha EDGAR com resolução horizontal de 1x1 grau e resolução temporal de um ano.

As emissões de monóxido de carbono associadas aos processos antropogênicos (indústria, geração de eletricidade, transporte etc.) são fornecidas pelas bases de dados EDGAR/RETRO com uma correção da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para a Região Metropolitana de São Paulo: Decreto N. 47.400, de 4 de Dezembro de 2002 (CETESB, 2002).

4.6.2. CONFIGURAÇÃO DO MODELO, CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO

O modelo é configurado com três grades com uma resolução horizontal de 150, 30 e 15 km. A resolução vertical começa a 150 m acima da superfície, se estendendo a uma taxa de 1.15 até a resolução final de 850 m, com o topo do modelo a aproximadamente 20 km. A grade maior, cobrindo os continentes da América do Sul e da África, tem como finalidade gerar o fluxo de traçadores que vêm da África à América do Sul. O modelo atmosférico é inicializado e ajustado com as análises/previsões do modelo global do CPTEC, que tem resolução horizontal de 1,875 graus e temporal de 6 horas. Os campos 3D de concentração de traçadores da simulação anterior são usados como condição inicial para a próxima e uma condição de fluxo constante é usada como condição de contorno para os traçadores na grade grossa. A simulação é realizada por 48 horas, começando às 00 UTC do dia anterior. A umidade do solo é inicializada com base no método de índice de precipitação antecedente (GEVAERD; FREITAS, 2006).

A análise e o prognóstico dos campos de monóxido de carbono e concentração de massa de partículas de aerossol, espessura ótica de aerossol e massa úmida de partícula de aerossol depositada, são apresentados diariamente em meioambiente.cptec.inpe.br. A comparação dos resultados do modelo com produtos de sensoriamento remoto de aerossol e traços de gases mostrou as boas habilidades de previsão do modelo.

4.6.3. COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO COM DADOS OBSERVACIONAIS E DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA A ÉPOCA SECA DE 2002

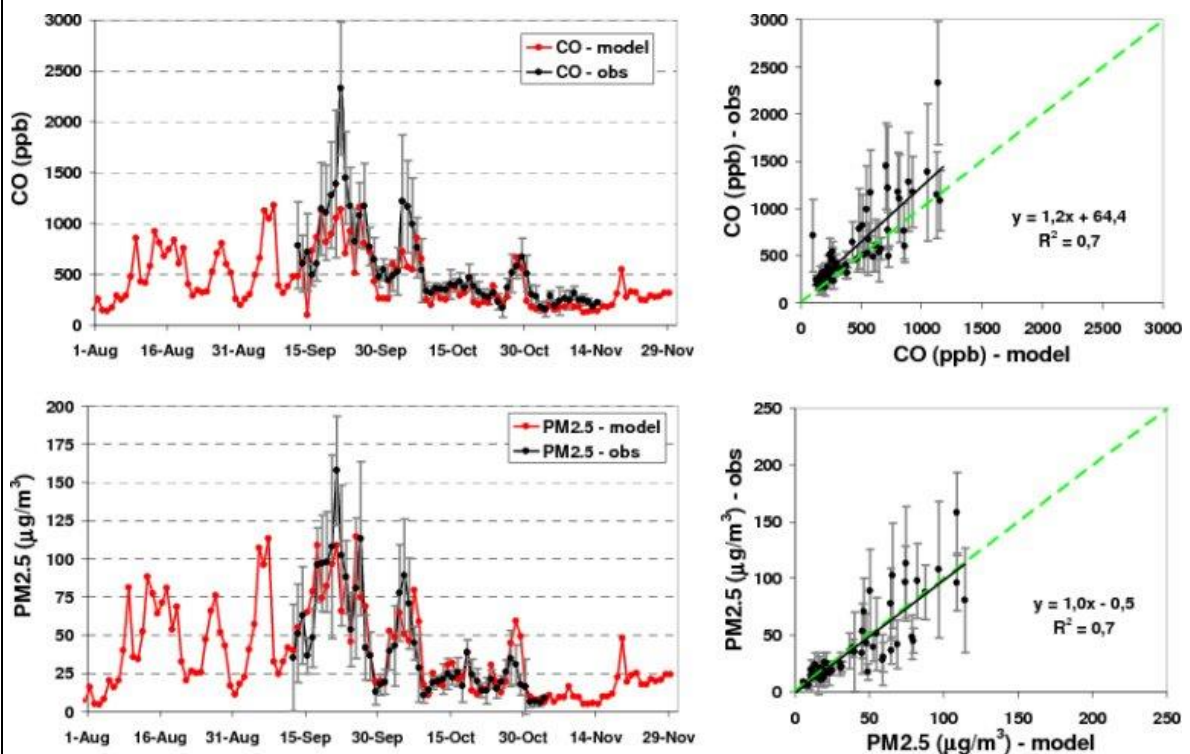
Foi feita uma avaliação dos dados do modelo CCATT-BRAMS em comparação com medidas de superfície e aéreas do SMOCC/RaCCI (2002).

Freitas et al.(2009) compararam o resultado do modelo CCATT-BRAMS com os poluentes CO e PM_{2,5} e obtiveram os resultados mostrados na figura 3:

Na figura 3 são mostradas duas séries de tempo com comparação do CO e de PM_{2,5} de superfície obtidos do modelo e das observações medidos no estado de Rondônia e norte de Mato Grosso. Uma comparação dos resultados do modelo para PM_{2,5} e CO, às 1200 UTC, com médias diárias centradas, às 1200 UTC dos valores medidos, revela uma boa correspondência em termos do padrão geral de evolução temporal e dos valores (FREITAS et al., 2009).

Médias diárias foram calculadas, centradas às 1200 UTC. As barras de erro são o desvio padrão (DP) dos valores médios. Os resultados do modelo são apresentados como valores instantâneos às 1200 UTC.

Figura 3- Séries de tempo com comparação entre CO próximo à superfície (ppb, acima) e PM_{2.5} (μg/m³, embaixo) observado (preto) e resultado do modelo (vermelho).



Fonte: http://meioambiente.cptec.inpe.br/modelo_cattbrams.php?lang=pt Acesso em: 11/09/2015

5. MATERIAL E MÉTODO

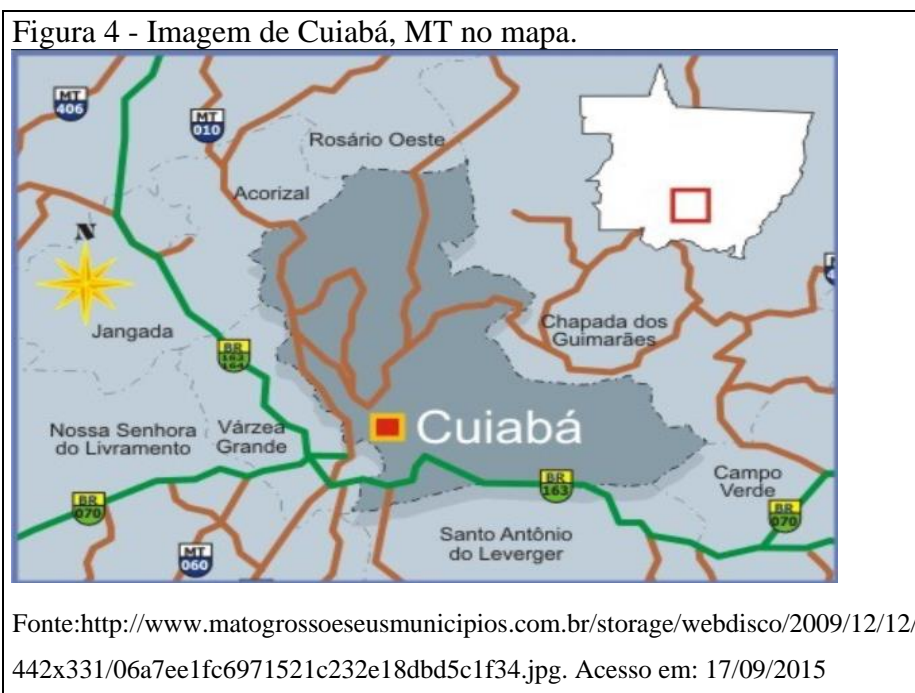
5.1. LOCAL DE ESTUDO

Cuiabá é um município brasileiro, capital do estado de Mato Grosso. Fundada em 1719 por Pascoal Moreira Cabral e descoberta por Miguel Sutil, ficou praticamente estagnada desde o fim das jazidas de ouro até o início do século XX. Desde então, apresentou um crescimento populacional acima da média nacional, atingindo seu auge nas décadas de 1970 e 1980. Nos últimos 15 anos, o crescimento diminuiu, acompanhando a queda que ocorreu na maior parte do país.

Segundo estimativas de 2014 feitas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), a população de Cuiabá é de 575 480 habitantes, enquanto a população da conurbação é de 841 225; já sua região metropolitana possui 863 509 habitantes e o colar metropolitano quase 1 milhão; sua mesorregião possui 1 100 512 habitantes, o que faz de Cuiabá uma pequena metrópole no centro da América do Sul.

Cuiabá apresenta um IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de 0,79 e conta com 17 hospitais privados e 11 hospitais que atendem ao SUS que disponibilizam cerca de 1400 leitos para internação (IBGE, 2015).

Faz limite com os municípios de Chapada dos Guimarães, Campo Verde, Santo Antônio do Leverger, Várzea Grande, Jangada e Acorizal como apresentado na Figura 4. É um entroncamento rodoviário-aéreo-fluvial e o centro geodésico da América do Sul, nas coordenadas 15°35'56",80 de latitude sul e 56°06'05",55 de longitude oeste.



A economia de Cuiabá, hoje, está concentrada no comércio e na indústria. No comércio, a representatividade é varejista, constituída por casas de gêneros alimentícios, vestuário, eletrodomésticos, de objetos e artigos diversos. O setor industrial é representado, basicamente, pela agroindústria. Muitas indústrias, principalmente aquelas que devem ser mantidas longe das áreas populosas, estão instaladas no Distrito Industrial de Cuiabá, criado em 1978. Na agricultura, cultivam-se lavouras de subsistência e hortifrutigranjeiros. Quanto a sua pauta de exportações, ela foi, em 2012, baseada principalmente em soja (37,04%), milho (25,77%), farelo de soja (14,70%), algodão cru (8,83%) e carne bovina congelada (5,66%) (IBGE, 2015).

Os níveis de poluição presentes em Cuiabá têm origem principalmente nas emissões das indústrias instaladas na região, além do grande número de focos de queimadas registrados por ano e pela grande frota de veículos que supera os 400 mil (DETRAN/MT, 2016).

Figura 5 - Vista do centro da cidade Cuiabá, MT.



Fonte: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cuiab%C3%A1> Acesso em: 19/08/2015

5.2. METODOLOGÍA

Foi desenvolvido um estudo ecológico de séries temporais com dados relativos a internações por doenças respiratórias da Classificação Internacional de Doenças 10^a revisão (CID 10) correspondentes aos códigos J00 a J99, focando a análise em dados de internações concernentes às doenças: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva cônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), que representam em torno de 75% do total das doenças respiratórias. Esses dados pertencem aos residentes em Cuiabá, MT. O período de estudo é entre 01 de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2013.

Os dados de internação com diagnósticos segundo CID 10 J-00 a J-99, entre eles os de doenças específicas descritas, foram obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), que disponibiliza dados diários de internação na forma compactada de arquivos “.dbc”. Estes bancos foram expandidos pelo programa TabWin disponibilizado na página do Datasus, para formato “.dbf”. Figura 6.

Uma planilha com os dados de 01 de janeiro de 2012 até 31 de dezembro de 2013 foi construída informando o número diário de internações com os diagnósticos J 00 a J 99. Na Figura 6 pode ser visto que o banco RDMT1201.dbc tem 914,65KB de tamanho. A expansão deste banco se faz pela utilização do TabWin como apresentado na Figura 7.

A Figura 6 ilustra a tela do Datasus com o caminho a ser seguido.

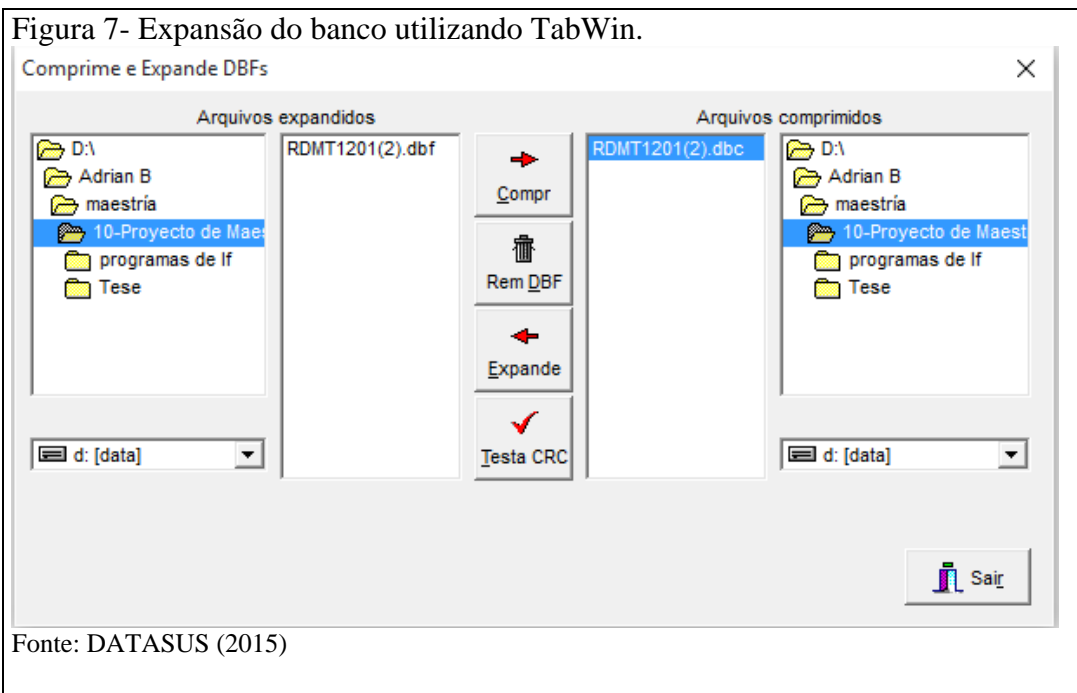
Figura 6 - Tela da coleta de dados através do Datasus.



Fonte: Departamento de informática do SUS (DATASUS). Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901&item=1&acao=25>. Acesso em: 15/07/2015.

O arquivo expandido RDMT1201.dbf contém informações sobre as internações pelo Sistema Único de Saúde, no mês de janeiro de 2012 no estado de Mato Grosso como apresentado na Tabela 2. Os dados que foram utilizados referem-se ao código IBGE 510340 que é de Cuiabá.

Figura 7- Expansão do banco utilizando TabWin.



Fonte: DATASUS (2015)

Tabela 2 - Internações pelo Sistema Único de Saúde. Mês de janeiro de 2012. Cuiabá, MT.

<u>Munic Res</u>	<u>Nasc</u>	<u>Sexo</u>	<u>DT Inter</u>	<u>DT Saida</u>	<u>Diag Princ</u>	<u>Idade</u>	<u>Dias Perm</u>	<u>Morte</u>
510340	19760203	3	20111226	20111227	K420	35	1	0
510340	19771104	1	20120102	20120106	T932	34	4	0
510340	19751113	3	20120124	20120126	K810	36	2	0
510340	19801030	3	20111218	20111220	M238	31	2	0
510340	19850424	3	20120104	20120105	K092	26	1	0
510340	19830517	3	20120109	20120110	K804	28	1	0
510340	20050718	3	20120127	20120127	Z478	6	0	0
510340	19781007	1	20120116	20120117	I841	33	1	0
510340	19880915	3	20111219	20111228	F140	23	9	0
510340	19560113	1	20120123	20120123	H335	56	0	0
510340	19490714	1	20120129	20120131	K409	62	2	0
510340	19880519	3	20120105	20120107	A09	23	2	0
510340	19731211	1	20111220	20111230	J189	38	10	0

Fonte: Produção do proprio autor

Cumprir lembrar que a planilha relativa ao mês de janeiro contém dados de meses anteriores e esta planilha tem mais de 60 colunas, pois sua finalidade diz respeito à contabilidade, isto é, se os custos de cada internação foram apresentados de forma correta. Da mesma forma, no mês de fevereiro, existem informações relacionadas ao mês de janeiro; assim, bancos de dados de janeiro e fevereiro de 2014 foram obtidos para identificarem casos de novembro e dezembro de 2013.

O próximo passo foi a obtenção dos dados diários dos poluentes PM_{2,5} e CO estimados pelo modelo CCATT-BRAMS.

Foram considerados como variáveis independentes as concentrações dos poluentes CO, PM_{2,5}, queimadas, umidade do ar e temperatura, fatores esses que podem interferir direta ou indiretamente no quadro de doenças respiratórias. As informações sobre os poluentes (CO e PM_{2,5}) foram obtidas pelos dados estimados do modelo CCATT-BRAMS (CPTEC-INPE) sob forma de média diária. Os dados diários de queimadas foram obtidos pelo Sistema de Informações Ambientais (SISAM), e as informações sobre umidade do ar e temperatura obtidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com agência em Cuiabá, MT.

Foram calculadas as médias diárias de cada poluente, sendo que o CO é quantificado em ppb e o PM_{2,5} em µg/m³. Estes valores foram inseridos na planilha com os dados diários de internação.

Foi realizada a distribuição de frequência das diferentes variáveis expressas com média, desvio-padrão e valores de mínimo e máximo, usando o programa Stata10, onde foram consideradas as concentrações dos poluentes: monóxido de carbono (CO) e material particulado fino (PM_{2,5}), além de ajustados com a umidade do ar, temperatura, número de queimadas e dias da semana.

Esta análise utiliza o Modelo Linear Generalizado da Regressão de Poisson, controlando a sazonalidade e dias da semana. Os coeficientes fornecidos pelo modelo foram transformados em Risco Relativo (RR) para internação por doenças respiratórias (J-00 a J-99) segundo a expressão (1):

$$RR = \exp(\beta) \quad (1)$$

Onde β é o coeficiente obtido pela Regressão de Poisson. Foi calculado também o intervalo de confiança (IC95%) para o RR.

Os coeficientes fornecidos pelo modelo também foram transformados em Risco Relativo (RR) para internação por doenças respiratórias (J-00 a J-99) quando aumentadas em 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações médias de PM_{2,5} segundo a expressão (2):

$$RR = \exp(\beta * \Delta\text{poluente}) \quad (2)$$

Onde $\Delta\text{poluente}$ é o valor do poluente quando aumentados 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na sua concentração, menos o valor do poluente estimado no local.

Os efeitos adversos da exposição à poluição atmosférica apresentam, aparentemente, um comportamento defasado em relação ao período de exposição ao poluente atmosférico, mas não há um consenso quanto ao tamanho desta janela. Isso significa que as internações em um dado dia podem estar associadas tanto à poluição do referido dia como também à poluição de dias anteriores, optando-se por utilizar modelos com defasagens de até 7 dias após a exposição ao poluente.

Além disso, foi estimado o efeito do acréscimo no número de internações hospitalares, dependendo do aumento nos níveis de PM_{2,5} por meio da fórmula:

$$AP = (\exp(\beta * \Delta\text{poluente}) - 1) * 100 \quad (3)$$

Foi calculada a razão atribuível proporcional (RAP) segundo a expressão (4):

$$RAP = [1 - 1/RR] \quad (4)$$

Onde RR= risco relativo com aumento, para verificar a porcentagem de internados devido aos poluentes.

Com este valor, foi estimada a fração atribuível populacional (FAP) que permitiu estimar o número de internações associado a este aumento, segundo a expressão (5):

$$FAP = RAP * N \quad (5)$$

Onde N é o número de internações por doenças respiratórias no período estudado.

Foi estimado o custo para o Sistema de Saúde, segundo o valor médio de cada internação para estas doenças obtidos do Datasus e que poderia ser evitado com a diminuição das concentrações de PM_{2,5}. Todas as análises foram realizadas por meio do programa estatístico Stata 10. O nível de significância adotado foi de 5%.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Foi feita a análise dos resultados com dados concernentes às internações por doenças respiratórias dos códigos J00.0 até J99.9 da CID-10^a revisão, em Cuiabá, MT, no período de 01 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2013. Foram internados 4998 pessoas; destas, 2535 internações foram no ano 2012, e 2463 no ano 2013.

Mas o estudo foi baseado na análise dos dados de internações concernentes às doenças: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva crônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), que representam em torno de 75% do total das doenças respiratórias totais (J00.0 até J99.9). Observou-se que no mesmo período, foram internados em Cuiabá, MT, 3837 pessoas; destas, 1931 internações foram no ano 2012, e 1906 no ano 2013 (Tabela 3 e Tabela 4). Representando custos acima dos R\$ 3,9 milhões para o sistema de saúde pública, com um valor médio por internação de R\$ 1007,69 (DATASUS, 2016).

Na Tabela 3 pode-se observar o número de internações por doenças respiratórias dos códigos J00.0 a J99.9; mas também o número de internações concernentes às doenças específicas: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva cônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), que representam entre 74,5% (segundo semestre do ano 2012) e 77,8% (primeiro semestre do ano 2012) dos totais das internações por doenças respiratórias.

Tabela 3 - Estatística descritiva, segundo semestres, do número de internações totais por doenças respiratórias dos códigos (J00.0 - J99.9), e das internações específicas: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva crônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), em Cuiabá, MT, 2012.

Ano 2012	Internações totais	Internações específicas
Primeiro Semestre	1280	996 (77,8) [#]
Segundo Semestre	1255	935 (74,5) [#]
Total ano	2535	1931 (76,2) [#]

[#]Percentual relativo ao total de internações por todos os diagnósticos do (J00.0 - J99.9).

Tabela 4 - Estatística descritiva, segundo semestres, do número de internações totais por doenças respiratórias dos códigos (J00.0 - J99.9), e das internações específicas: traqueite e laringite (J04.0 - J04.9), pneumonia (J12.0 - J18.9), bronquite e bronquiolite (J20.0 - J21.9), doença pulmonar obstrutiva crônica (J44.0 - J44.9) e asma (J45.0 - J45.9), em Cuiabá, MT, 2013.

Ano 2013	Internações totais	Internações específicas
Primeiro Semestre	1467	1136(77,4) [#]
Segundo Semestre	996	770(77,3) [#]
Total ano	2463	1906(77,4) [#]

[#]Percentual relativo ao total de internações por todos os diagnósticos do (J00.0 - J99.9).

No período estudado nesta pesquisa, foram 4998 internações segundo diagnóstico J00.0 a J99.9, sendo 3837 internações (76,8%) por doenças específicas.

6.2. CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Nas tabelas 5, 6 e 7 observa-se que as concentrações do PM_{2,5} e CO variam entre o ano 2012 e o ano 2013, sendo maiores no caso do PM_{2,5} (com 15,67 µg/m³ no ano 2012 por 14,48 µg/m³ no ano 2013), e para o CO (com 144,15 ppb no ano 2012 por 126,66 ppb no ano 2013). Mas dentro do mesmo ano também foram achadas variações, sendo no segundo semestre onde foram maiores as concentrações dos poluentes.

Também podem ser observadas as variações de Umidade Relativa Média e Temperaturas Mínimas Médias entre os semestres dos dois anos, o que ocorre devido às mudanças do clima em cada estação do ano, além dos valores médios no número de focos de queimadas que foram significativamente maiores no segundo semestre de cada ano (estação seca), contribuindo a esse aumento nas concentrações dos poluentes.

Tabela 5 - Estatística descritiva, segundo semestres, dos valores médios diários do número de interações, dos poluentes atmosféricos PM_{2,5} (µg/m³), CO (ppb), umidade relativa média(%), temperatura mínima (°C) e número de focos de queimadas, Cuiabá, MT, 2012.

Ano 2012			
Variáveis	Prim. Sem	Seg. Sem	Ano todo
Interações	5,47	5,08	5,28
PM _{2,5}	14,13	17,03	15,67
CO	120,2	165,23	144,15
Umidade relativa média	78,85	61,85	70,35
Temperatura mínima	21	20,15	20,57
Focos de queimadas	0,03	1,6	0,82

Tabela 6 - Estatística descritiva, segundo semestres, dos valores médios diários do número de interações, dos poluentes atmosféricos PM_{2,5} (µg/m³), CO (ppb), umidade relativa média (%), temperatura mínima (°C) e número de focos de queimadas, Cuiabá, MT, 2013.

Ano 2013			
Variáveis	Prim. Sem	Seg. Sem	Ano todo
Interações	6,28	4,19	5,22
PM _{2,5}	13,68	15,26	14,48
CO	114,81	138,32	126,66
Umidade relativa média	76,84	64,92	70,83
Temperatura mínima	22,05	21,09	21,57
Focos de queimadas	0,03	2,32	1,18

Tabela 7 - Estatística descritiva, segundo semestres, dos valores médios diários do número de interações, dos poluentes atmosféricos PM_{2,5} (µg/m³), CO (ppb), umidade relativa média (%), temperatura mínima (°C) e número de focos de queimadas, Cuiabá, MT, 2012 e 2013 (Total Período de Estudo).

Anos 2012 e 2013	
Variáveis	Total Período Estudo
Interações	5,25
PM _{2,5}	15,06
CO	135,17
Umidade relativa média	70,59
Temperatura mínima	21,06
Focos de queimadas	1

Nos dados das concentrações dos poluentes obtidos do CCATT-BRAMS houve 20 dias sem valores de estimacão para o PM_{2,5} e o CO, (2,7% do período analisado). Também

pode-se observar que em 15 dias (2,1%), as concentrações médias de PM_{2,5} apresentam valores acima do limite considerado como tolerável para a saúde (25 µg/m³), sendo que o maior valor achado foi de 32,1 µg/m³.

Ignotti et al. (2010a), em estudo ecológico de séries temporais de hospitalizações de crianças e idosos por doenças respiratórias, em Alta Floresta e Tangará da Serra, na Amazônia brasileira no ano 2005, utilizaram estimativas de concentrações diárias de PM_{2,5} obtidas também do CCATT-BRAMS, variáveis meteorológicas e de calendário. Os valores médios nas concentrações de PM_{2,5} encontrados no período de estudo para Alta Floresta e Tangará da Serra, foram 20,4µg/m³ e 17,2µg/m³ respectivamente, valores acima dos encontrados no nosso estudo (15,06µg/m³).

Ignotti et al (2010b) não consideraram o CO como variável, mesmo assim, encontraram aumentos percentuais significantes no risco relativo de internações por doenças respiratórias em crianças, para o ano todo e para o período de seca, com defasagens de 3-4 dias, e para idosos foram significantes para o dia corrente na seca com 6,8% (IC95%: 0,5-13,5) de incremento para aumento de 10µg/m³ de PM_{2,5}. Em nosso estudo, também não foi considerado o CO, entretanto os valores de risco relativo de internação não foram significativos; só quando considerado o CO na análise os valores de RR foram significativos para todas as defasagens. Isto indica que o monóxido de carbono potencializou a ação do PM_{2,5} no adoecimento respiratório em nosso estudo. Apesar de Alta Floresta, Tangará da Serra e Cuiabá serem municípios de porte médio e de interior, apresentam níveis de poluição consideráveis e que têm levado alguns pesquisadores a mostrar que existe uma parcela da população sendo internada devido a esses poluentes.

Silva et al. (2013) tentaram achar associação entre a exposição ao PM_{2,5} e as internações por doenças respiratórias também em Cuiabá, MT, no ano 2005, com dados estimados pelo CCATT-BRAMS, encontrando associação nos lags 1, 2 e 5 para o ano todo; e nos lags 1, 5 e 6 no período seco (segundo semestre), em função do aumento de 10 µg/m³. Os valores de médias diárias de concentração do PM_{2,5} achados por esses autores mostraram uma média anual de 7,5 µg/m³, sendo no nosso estudo bem mais alta (15,06 µg/m³).

6.3. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

A seguir, encontra-se a tabela de coeficientes de correlação de Pearson.

Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os poluentes PM_{2,5} e CO, variáveis climáticas, focos de queimadas e internações pelas doenças respiratórias específicas.

	PM _{2,5}	CO	Umidade relativa média	Temperatura mínima	Focos de queimadas	Internações
PM _{2,5}	1					
CO	0,85[#]	1				
Umidade relativa média.	-0,29[#]	-0,12[#]	1			
Temperatura mínima.	-0,14	0,30[#]	0,24[#]	1		
Focos de queimadas.	0,13[#]	0,03	-0,31[#]	-0,13[#]	1	
Internações	0,02	-0,11[#]	-0,06	-0,10[#]	0,01	1

[#] p-valor < 0,05

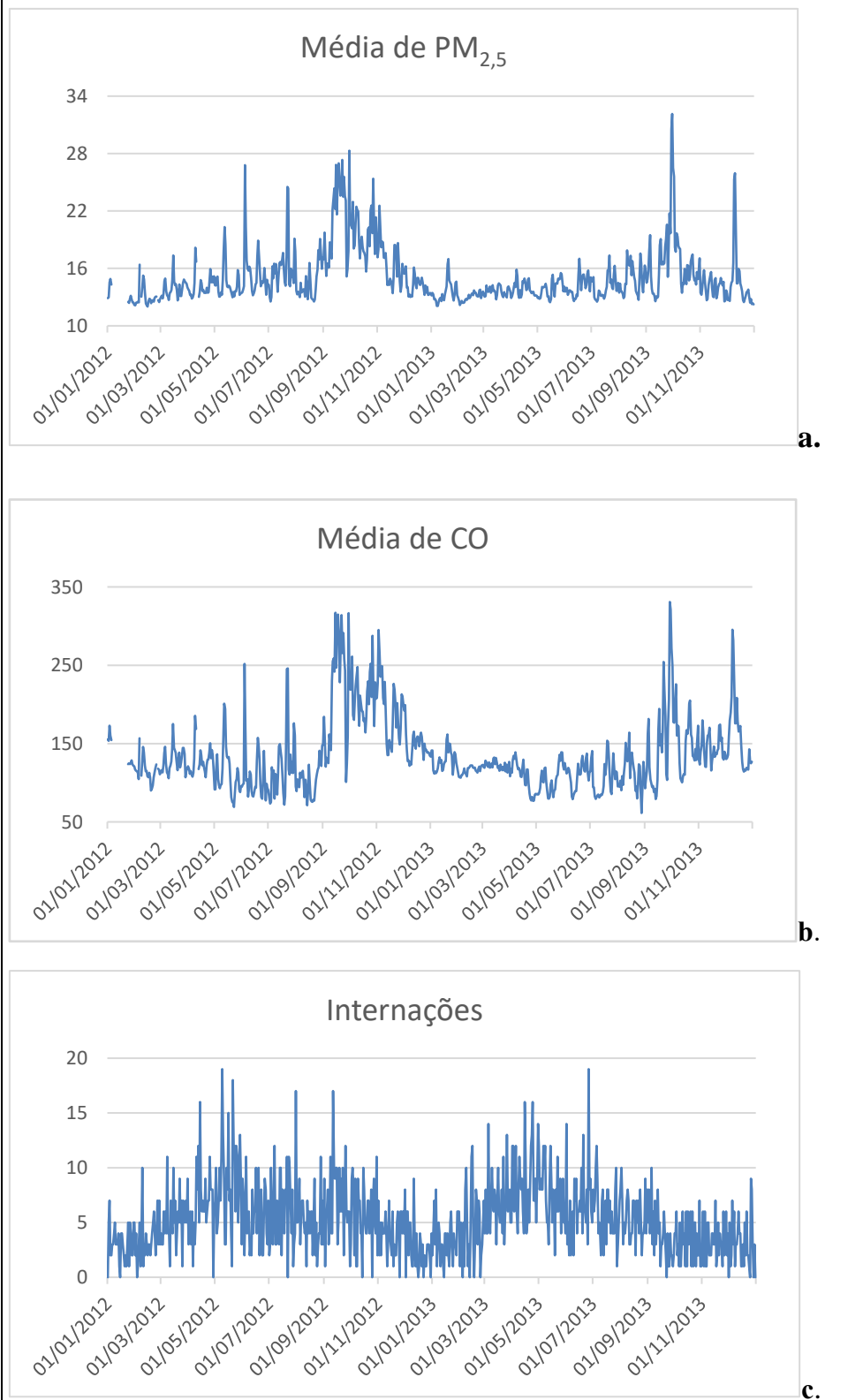
A partir da Tabela 8, verifica-se que o PM_{2,5} se correlaciona positivamente com CO e focos de queimadas, e negativamente com a umidade relativa, com a temperatura mínima não foi significativo. O CO se correlaciona positivamente com temperaturas mínimas, e negativamente com a umidade e internações.

Mantovani et al. (2016) estudaram o PM_{2,5} ajustado pelos poluentes O₃, CO e NO₂, nesse caso estimando a associação com internações por Infarto Agudo do Miocárdio (IAM) e outras doenças isquêmicas do coração (DIC) em São José do Rio Preto – SP. Verificaram que o material particulado também apresentou correlação positiva com o CO, concordando com os resultados de nossa pesquisa. É válido ressaltar que nossos dados, semelhante aos dados de Mantovani et al. (2016) são estimados pelo modelo CCATT-BRAMS.

6.4. DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS VARIÁVEIS EM ANÁLISE

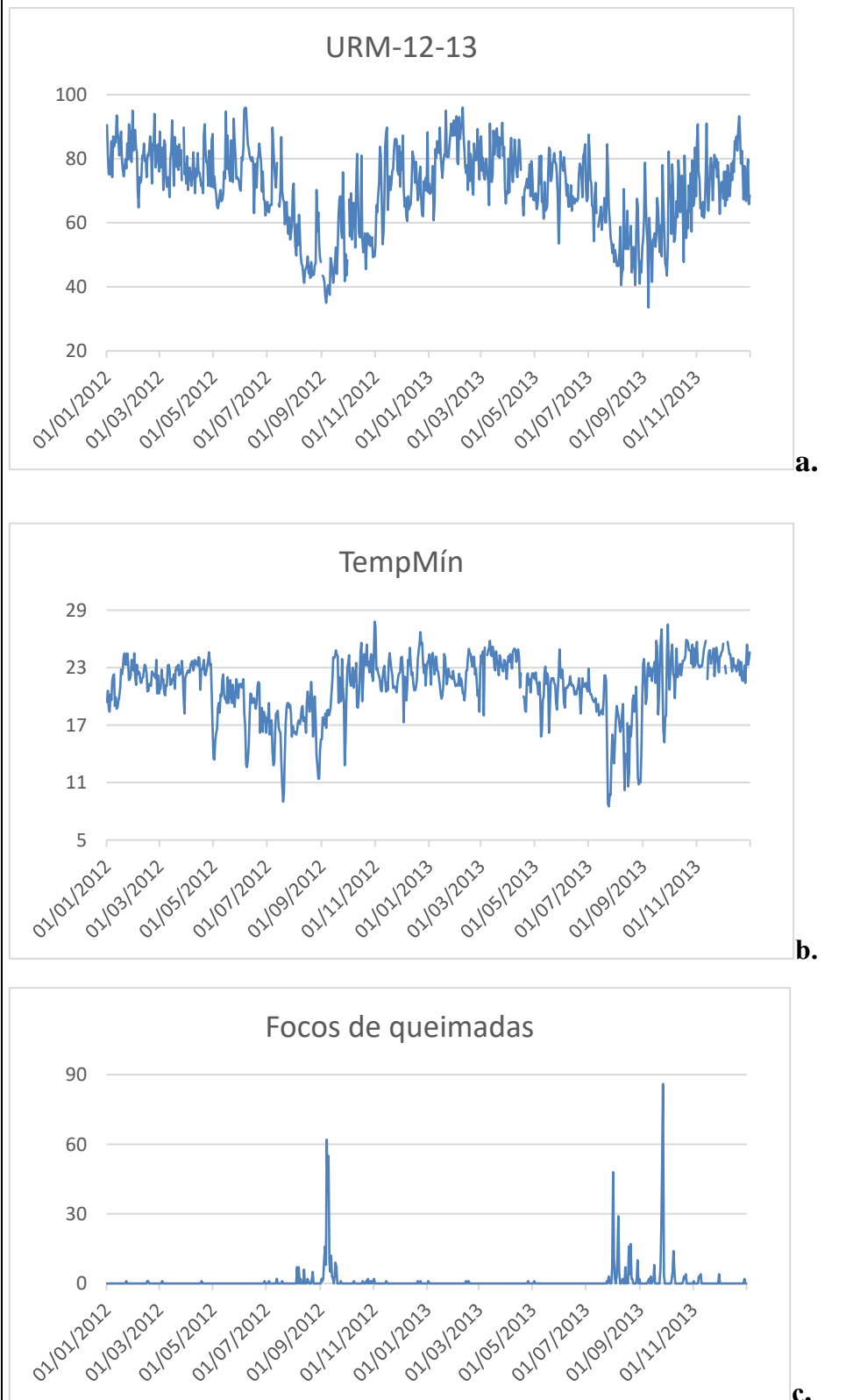
Nas figuras 8 (a, b e c) podem ser observadas as distribuições temporais das concentrações do PM_{2,5}, o CO e o número de internações pelas doenças respiratórias em análise, sendo que as maiores concentrações dos poluentes, além do aumento no número internações aparecem no período seco (segundo semestre) de cada um dos dois anos em estudo. Mesmo período onde se encontram as médias mais baixas de Umidade Relativa do ar, e de Temperaturas mínimas, além do maior número de Focos de queimadas, 722 (98,5% dos 733 focos de todo o período estudado), havendo dias com até 86 focos ao mesmo tempo, o que aumentou significativamente as concentrações de PM_{2,5} e CO na região, se associando às internações por doenças respiratórias. (Figuras 9 a, b e c).

Figura 8 - Gráficos da distribuição dos valores médios de PM_{2,5} (a); CO (b); e Internações por doenças respiratórias (c), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 9- Gráficos da distribuição dos valores de Umidade Relativa do Ar (a); Temperaturas Mínimas (b); Focos de Queimadas (c), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.



Fonte: Produção do próprio autor

6.5. COEFICIENTES DA REGRESSÃO DE POISSON

Os coeficientes obtidos pelo Stata 10, relacionando a associação entre as internações por doenças respiratórias específicas e a exposição ao poluente PM_{2,5} sem ajuste com o CO, e ajustado com o CO, nos dois casos ajustados também com Umidade Relativa do Ar, Temperaturas Mínimas, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana para até sete dias após à exposição (Lag 0 ao Lag 7), nos anos 2012 e 2013, podem-se observar na Tabela 9 e Tabela 10 respectivamente.

Tabela 9 - Coeficientes com o respectivos desvios padrão fornecidos pelo Regressão de Poisson para o poluente PM_{2,5} e as internações em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.

PM _{2,5} nos anos 2012 e 2013		
Lags	coef	dp
Lag 0	0,0043	0,0059
Lag 1	0,0023	0,0059
Lag 2	0,0064	0,0058
Lag 3	0,0044	0,0059
Lag 4	-0,0023	0,0061
Lag 5	-0,0052	0,0063
Lag 6	-0,0067	0,0063
Lag 7	-0,0074	0,0062

Estes valores dos coeficientes não apresentaram associação significativa entre exposição ao PM_{2,5} e internações por doenças respiratórias em nenhum dos 7 lags considerados. Isto devido a que não foi ajustado o CO, o qual potencializa a ação do material particulado fino no número de internações por doenças respiratórias.

Tabela 10 - Coeficientes com o respectivos desvios padrão fornecidos pelo Regressão de Poisson para o poluente PM_{2,5} e CO e as internações em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.

PM _{2,5} nos anos 2012 e 2013		
Lags	coef	dp
Lag 0*	0,1143	0,0133
Lag 1*	0,1048	0,0132
Lag 2*	0,1125	0,0132
Lag 3*	0,0999	0,0134
Lag 4*	0,1026	0,0135
Lag 5*	0,0962	0,0137
Lag 6*	0,0920	0,0138
Lag 7*	0,0876	0,0136

*(p<0,05)

A exposição ao material particulado fino esteve associada significativamente ($p < 0,05$), às internações por doenças respiratórias nos sete dias após à exposição (Lag 0 – Lag 7). Devido a que esta análise foi feita ajustando o monóxido de carbono, o qual potencializou a ação do material particulado fino na ocorrência de internações por doenças respiratórias.

6.6. RISCO RELATIVO DE INTERNAÇÃO

Foram calculados os valores de risco relativo de internação por doenças respiratórias específicas após à exposição ao $PM_{2,5}$ ajustado ou não ao CO, e também ajustado com Umidade Relativa do Ar, Temperaturas Mínimas, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana para até sete dias após à exposição (Lag 0 ao Lag 7), em Cuiabá, MT, nos anos 2012 e 2013 como apresentado nas Tabelas 11 e 12 respectivamente.

Ao analisar os valores de risco relativo de internação pelas doenças respiratórias acima descritas, foi achada associação para o Lag 0 até o Lag 7 quando considerados os valores de concentrações do $PM_{2,5}$ e do CO na obtenção dos coeficientes fornecidos pela regressão de Poisson; diferente dos resultados quando analisados só com os valores do $PM_{2,5}$. O que demonstra que o CO potencializa a ação do $PM_{2,5}$ no adoecimento do sistema respiratório das pessoas quando expostas a estes poluentes, o que talvez seja explicado pela alta correlação entre $PM_{2,5}$ e CO encontrada nesse estudo como mostra a Tabela 8.

Tabela 11 - Valores do Risco Relativo(RR) de internação pelas doenças específicas, Desvio Padrão(DP) e Intervalo de Confiança(IC), após à exposição ao $PM_{2,5}$ para as defassagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.

$PM_{2,5}$				
Lags	RR	DP	IC	
Lag 0	1,004	0,006	0,993	1,016
Lag 1	1,002	0,006	0,991	1,014
Lag 2	1,006	0,006	0,995	1,018
Lag 3	1,004	0,006	0,993	1,016
Lag 4	0,998	0,006	0,986	1,010
Lag 5	0,995	0,006	0,983	1,007
Lag 6	0,993	0,006	0,981	1,006
Lag 7	0,993	0,006	0,981	1,005

Na análise dos valores mostrados na tabela 11, pode-se observar que a exposição ao material particulado fino sem ser ajustado com o monóxido de carbono não constitui fator de risco de internação por doenças respiratórias em nenhum dos 7 lags considerados.

Porém, mesmo sem ajustar o CO no modelo, foi desenvolvido um estudo ecológico de séries temporais utilizando dados de internações por pneumonia, bronquite aguda, bronquiolite e asma; e dados diários das concentrações de PM_{2,5} obtidos também a partir do modelo CCATT-BRAMS em Volta Redonda (RJ), entre 1 de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2012. Os efeitos da exposição foram significativos em lag 2 (RR = 1,017), lag 5 (RR = 1,022) e lag 7 (RR = 1,020). A redução em 5 µg/m³ na concentração de PM_{2,5} poderia reduzir até 76 internações com diminuição nos gastos de R\$ 84 mil/ano (NASCIMENTO et al., 2016).

Também sem ajustar os valores do CO no modelo, Scott et al. (2016) analisaram a associação entre a carga oxidativa de PM_{2,5} e as consultas de emergência por doenças respiratórias. Realizaram um estudo *case-crossover* em Ontário (Canadá), entre 2004 e 2011, incluindo casos de asma, de doença pulmonar obstrutiva crônica e casos de outras doenças respiratórias. A regressão logística condicional foi usada para estimar as associações entre as concentrações de poluição do ar e as visitas às salas de emergência, ajustando as covariáveis que variam no tempo. As concentrações médias de PM_{2,5} de três dias foram consistentemente associadas com visitas a salas de emergência para todas as doenças respiratórias. Entre as crianças (< 9 anos), cada alteração interquartil (5,92 µg/m³) na média de PM_{2,5} de 3 dias foi associada com um risco aumentado de 7,2% (intervalo de confiança de 95%, 4,2-10) nas consultas de emergência para asma. O potencial oxidativo relacionado à glutathione modificou o impacto do PM_{2,5} nas consultas de emergência para doenças respiratórias (P = 0,001), mas apenas em baixas concentrações (≤ 10 µg/m³). As diferenças entre as cidades no potencial oxidativo relacionado ao ascorbato não modificaram o impacto do PM_{2,5} nos resultados respiratórios.

Na Tabela 12 pode-se observar que a exposição ao material particulado fino quando ajustado com o monóxido de carbono, constitui fator de risco, significativo, para internação por doenças respiratórias nos 7 lags considerados, devido a que o CO potencializou a ação do PM_{2,5}.

Tabela 12 - Valores do Risco Relativo (RR) de internação pelas doenças específicas, Desvio Padrão (DP) e Intervalo de Confiança (IC), após à exposição ao PM_{2,5} e CO para as defassagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.

PM _{2,5} e CO				
Lags	RR	DP	IC	
Lag 0*	1,121	0,015	1,092	1,151
Lag 1*	1,111	0,015	1,082	1,140
Lag 2*	1,119	0,015	1,090	1,148
Lag 3*	1,105	0,015	1,076	1,134
Lag 4*	1,108	0,015	1,079	1,138
Lag 5*	1,101	0,015	1,072	1,131
Lag 6*	1,096	0,015	1,067	1,126
Lag 7*	1,092	0,015	1,063	1,121

Concordando com esse resultado, César et al. (2013) realizaram um estudo ecológico de séries temporais com indicadores diários de internação por doenças respiratórias, em crianças de zero a dez anos de idade, residentes em Piracicaba, SP, identificando associação entre a exposição ao PM_{2,5} ajustado pelo CO com as internações. Os riscos relativos foram RR = 1,008; IC95% 1,001;1,016 para o lag 1 e RR = 1,009; IC95% 1,001;1,017 para o lag 3. O incremento de 10 µg/m³ de PM_{2,5} implicou aumento no risco relativo entre 7,9 e 8,6 pontos percentuais. Por esses e outros achados, fica evidenciado que o CO potencializa a ação do material particulado fino no número de internações por doenças respiratórias.

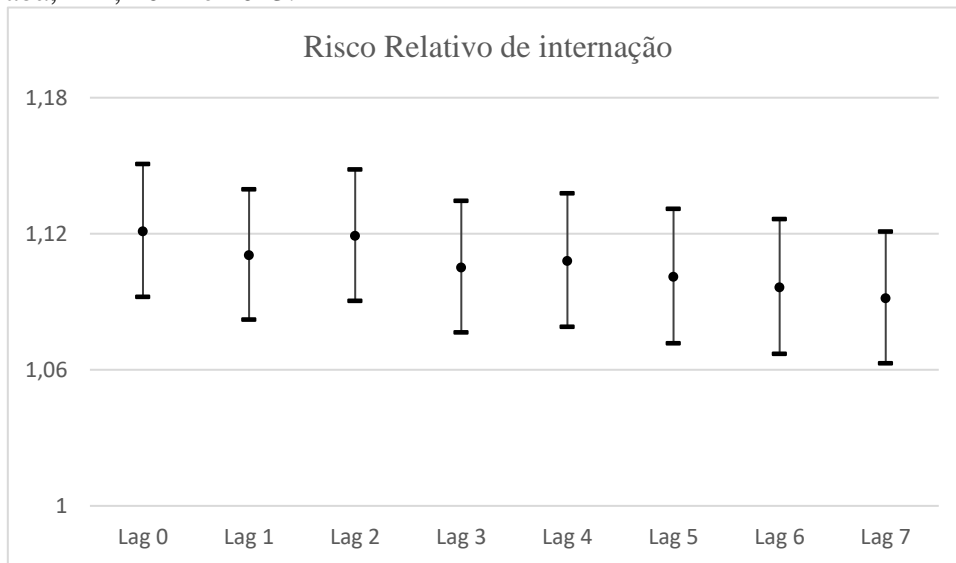
Um outro estudo que tentou identificar associação entre exposição aos poluentes do ar e as internações por doenças respiratórias de residentes em Taubaté, SP, foi feito por Roman et al. (2015), analisando dados de CO, PM_{2,5}, O₃ e NO_x estimados pelo (CCATT-BRAMS) no período de 01.08.2011 a 31.07.2012. O composto formado pelos óxidos de nitrogênio(NO_x), foi o único poluente cuja exposição se mostrou associada às internações por doenças respiratórias, e foi evidenciada nos lags 1 e 4, sendo que os RR para internação foram RR=1,046 (IC95%: 1,015-1,079) e RR=1,054 (IC95%: 1,054-1,196), respectivamente. Porém César et al. (2016), estudaram a possível associação entre a exposição ao material particulado fino PM_{2,5} e as internações por pneumonia e asma, no mesmo período, mas em crianças de até dez anos residentes em Taubaté (SP), e mesmo sem ajustar a análise com os valores de CO, os valores de risco relativo de internação foram significativos para os lags (0 e 2-5). Observou-se um aumento percentual do risco de internação entre 20,3% e 38,4% quando aumentada a concentração do PM_{2,5} em 5 µg/m³, resultando em aumento de 38 internações.

Francine et al. (2006), da Universidade de Harvard (EUA), analisaram a associação entre mortalidade e exposição ao $PM_{2,5}$ envolvendo seis cidades, concentrações anuais desse poluente em cidades específicas foram medidos entre 1979 e 1988 e foram estimados por anos mais tarde, a partir de dados disponíveis publicamente. As razões para a taxa de mortalidade foram estimadas com regressão de riscos proporcionais de Cox. A cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$ foi associado um aumento na mortalidade total como a média geral (RR = 1,16; [IC 95%], 1,07-1,26) ou à exposição no ano da morte (RR, 1,14; IC 95%: 1,06-1,22). A exposição a $PM_{2,5}$ foi associada com o câncer de pulmão (RR, 1,27; IC 95%: 0,96-1,69) e mortalidade cardiovascular (RR 1,28, IC 95%: 1,13- 1,44). A diminuição no risco de mortalidade total foi associada com a diminuição $PM_{2,5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entre os períodos (RR, 0,73; 95% CI: 0,57-0,95). Porém, em estudo feito por Silva et al. (2016), avaliaram o risco de adoecimento pela exposição a O_3 e $PM_{2,5}$ a partir da queima de biomassa, em escolares de 6-14 anos de idade, moradores de Rio Branco, Acre, Brasil. Durante os períodos de corte e queima, as concentrações O_3 e $PM_{2,5}$ atingiram $119,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $51,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Foi achado valor de risco significativo na exposição ao O_3 ($2,83 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{dia}$, IC 95% 2,72-2,94); mas para a exposição a $PM_{2,5}$ não foram encontrados valores de riscos significativos ($0,93 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{dia}$, IC 95%: 0,86-0,99). O risco de toxicidade para a exposição a O_3 foi (IC 95% RR = 2,75: 2,64-2,86) maior que 1 para todas as crianças.

Os valores do Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao $PM_{2,5}$, nos anos 2012 e 2013, Cuiabá, MT; podem ser observados na Figura 10. Constituindo fator de risco para todas as defasagens, esses valores estiveram entre 1,09 (1,06 - 1,12) no Lag 7 e 1,12 (1,09 – 1,15) no Lag 0.

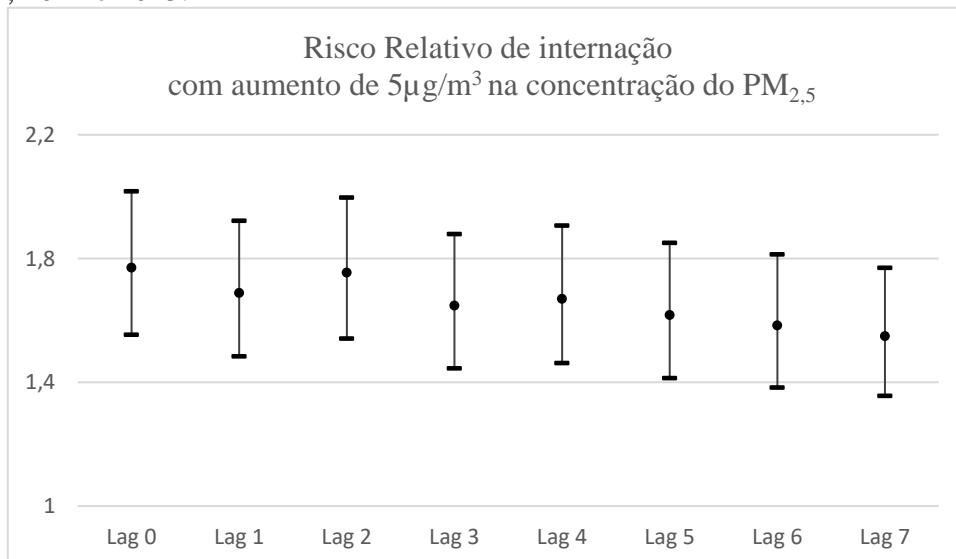
Quando aumentadas em $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações diárias do $PM_{2,5}$, os valores do Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao poluente, nos anos 2012 e 2013, constituíram fator de risco para todas as defasagens, mostrando valores entre 1,55 (1,36 – 1,77) no Lag 7 e 1,77 (1,55 – 2,02) no Lag 0 como apresentado na Figura 11.

Figura 10 - Risco relativo (e respectivos intervalos de confiança de 95%) de internações pelas doenças respiratórias específicas na exposição ao material particulado fino (PM_{2,5}) ajustados pelo CO, Umidade Relativa do Ar, Temperaturas Mínimas, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, em Cuiabá, MT, 2012 e 2013.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 11 - Valores de Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao PM_{2,5} com aumento de 5µg/m³ no valor das concentrações diárias, ajustados pelo CO, Umidade Relativa do Ar, Temperaturas Mínimas, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, Cuiabá, MT, 2012 e 2013.

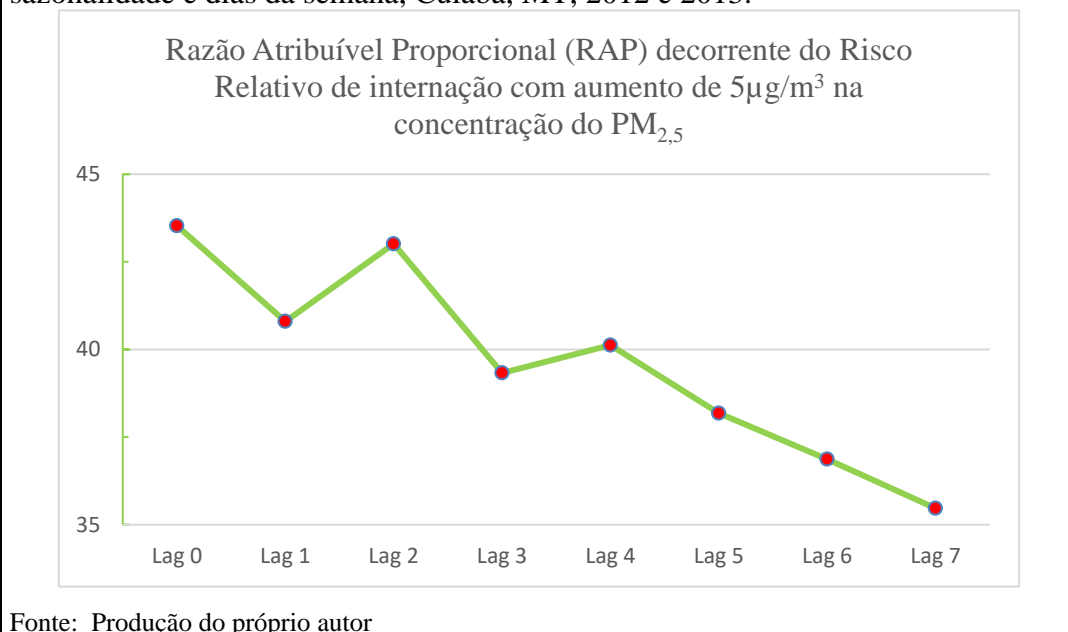


Fonte: Produção do próprio autor

6.7. AUMENTO PERCENTUAL DO RR, DO NÚMERO DE ATENDIMENTOS E DOS CUSTOS AO SUS

O Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao $PM_{2,5}$ com aumento de $5\mu g/m^3$ no valor das concentrações médias diárias, ajustados pelo CO, variáveis meteorológicas em análise, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, teve um aumento percentual considerável. Figura 12.

Figura 12 - Valores da razão atribuível proporcional (RAP) decorrentes do Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao $PM_{2,5}$, quando aumentadas em $5\mu g/m^3$ as concentrações diárias, ajustados pelo CO, Umidade Relativa do Ar, Temperaturas Mínimas, número de focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, Cuiabá, MT, 2012 e 2013.



Na figura 12 podem ser observados os valores da razão atribuível proporcional (RAP) decorrentes do Risco Relativo de internação pelas doenças respiratórias específicas após à exposição ao $PM_{2,5}$, quando aumentadas em $5\mu g/m^3$ as concentrações diárias. Sendo que o menor aumento percentual foi para o Lag 7 (35,5%), e o maior percentual foi o calculado para o Lag 0 (43,5%), o que representa uma variação no número de internações entre 1361 e 1670 com aumento ou diminuição de $5\mu g/m^3$ na concentração do $PM_{2,5}$, e reduziria os custos em atendimentos do SUS entre R\$1,37 e 1,68 milhão, por isso é importante o desenvolvimento de políticas públicas para reduzir os riscos na saúde da população. Os cálculos feitos para chegar nesses resultados podem ser observados no Apêndice A.

Segundo o nosso conhecimento, são poucos os estudos feitos em Cuiabá, MT, sobre os efeitos dos poluentes do ar nas internações por doenças respiratórias, e temos identificado

uma forte associação com a exposição ao PM_{2,5}. As internações consideradas neste estudo representam em torno de 75% das internações por doenças respiratórias dos códigos J00.0 até J99.9 do CID 10^a revisão (DATASUS).

Em estudo feito por Silva et al. (2010) utilizando as mesmas estimativas do modelo (CCATT-BRAMS), analisaram especialmente o efeito da exposição ao PM_{2,5} na ocorrência de doenças respiratórias de crianças de um a quatro anos, e de idosos ≥ 65 anos em Mato Grosso, em 2004. Encontraram associações estatisticamente significativas entre a ocorrência de internações por doenças respiratórias e o percentual de horas críticas anuais de material particulado menor que 2,5 micras.

Como em nossa pesquisa, Freitas et al. (2016) utilizaram modelos de séries temporais via regressão de Poisson a partir de dados de hospitalizações por doenças respiratórias, cardiovasculares e poluentes em Vitória, ES, Brasil. Cidade de em torno dos 330 mil habitantes segundo o IBGE e no período de 2001 a 2006. A fração de material particulado que utilizaram na análise foi o PM₁₀ e analisaram dados de internações por doenças respiratórias em todas as idades e em crianças menores de cinco anos. Para cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dos poluentes PM₁₀, SO₂ e O₃, foram observados aumentos no risco relativo percentual (RR%) para as hospitalizações por doenças respiratórias totais de 9,67 (IC95% 7,54-11,84), 6,98 (IC95% 4,17-9,98) e 1,93 (IC95% 0,93-2,95), respectivamente. Encontrou-se RR% = 6,60 (IC95% 3,75-9,53), RR% = 5,19 (IC95% 1,5-9,01) e RR% = 3,68 (IC95% 2,31-5,07) para doenças respiratórias em menores de cinco anos para o PM₁₀, SO₂ e O₃, respectivamente. As doenças cardiovasculares apresentaram relação significativa com o O₃ com RR% = 2,11 (IC95% 1,06-3,18) (FREITAS et al., 2016). Porém, neste estudo, considerando as concentrações de PM_{2,5} e um incremento de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mas incluindo o CO como variável de análise; os aumentos no risco relativo percentual (RR%) para as hospitalizações por doenças respiratórias específicas para todas as idades foram de RR = 35,5% (Lag 7) até RR = 43,5% (Lag 0).

Oliveira et al. (2011b), avaliaram a associação entre poluição do ar e óbitos por doenças respiratórias em idosos com idades acima de 65 anos, considerando susceptibilidade diferencial segundo gênero em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2006. Utilizando a regressão de Poisson, foi estimada associação para lag 1, o aumento do risco dos óbitos por PM₁₀ foi de 10,01% (IC95%: 1,81-18,88%) no total da população feminina e 10,04% (IC95%: 0,90-20,02%) em idosas. No total da população masculina, para lag 9, o aumento do risco de óbitos por PM₁₀ foi de 8,25% (IC95%: 0,86-16,18%) e de 10,80% (IC95%: 2,18-20,15%) para os idosos. O valor médio

na concentração do PM_{10} no período de estudo foi de $30,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e também não foram consideradas as concentrações de CO na análise feita.

Na cidade de Cubatão, São Paulo, Brasil, foram avaliados os efeitos dos poluentes atmosféricos e suas estruturas de defasagem sobre a morbidade respiratória de crianças e adolescentes (0 a 19 anos) entre 1997 e 2004. Utilizando modelos lineares generalizados de regressão de Poisson, resultou que o PM_{10} e ozônio estiveram positiva e estatisticamente associados com as internações por doenças respiratórias de crianças, aumentos de um interquartil nas médias móveis de sete dias do PM_{10} ($56,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e de cinco dias do ozônio ($46,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) levaram a aumentos nas internações hospitalares de 9,6% (IC95%: 3,0%-16,1%) e 2,4% (IC95%: 0,1%-4,7%), respectivamente (JASINSKI et al., 2011). Diferentemente deste estudo, onde os dados das concentrações dos poluentes foram obtidos pelo modelo matemático CCATT-BRAMS; para Jasinski et al. (2011) os valores nas concentrações de CO não foram incluídos na pesquisa devido a que as redes de monitoramento da região não registraram os níveis diários desse poluente.

Analisando uma amostra consideravelmente menor que a utilizada no nosso estudo, mas tentando associar exposição a poluentes do ar com funções respiratória de escolares, Castro et al. (2009) estudaram uma amostra aleatória de 118 escolares (seis a 15 anos de idade) da rede pública do Rio de Janeiro (RJ), residentes até 2 km do local do estudo. As medidas repetidas de função respiratória foram associadas aos níveis dos poluentes por meio de modelo multinível ajustado por tendência temporal, temperatura, umidade do ar, exposição domiciliar ao fumo, ser asmático, altura, sexo, peso e idade das crianças. O pico de fluxo expiratório médio foi $243,5 \text{ l}/\text{m}$ ($dp=58,9$). Para o aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} houve uma diminuição de $0,34 \text{ l}/\text{min}$ na média do pico de fluxo no terceiro dia. Para o aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 houve uma diminuição entre $0,23 \text{ l}/\text{min}$ a $0,28 \text{ l}/\text{min}$ na média do pico de fluxo após a exposição. Os efeitos do CO e do SO_2 no pico de fluxo dos escolares não foram estatisticamente significativos. Concluindo que a poluição atmosférica, principalmente o PM_{10} e o NO_2 , esteve associada à diminuição da função respiratória de crianças residentes no Rio de Janeiro.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo têm limitações, uma delas é que na pesquisa foram estudados só os poluentes PM_{2,5} e CO, mas não a possível potenciação deles quando associado aos poluentes O₃, NO₂ e SO₂. Também não foi considerada a força dos ventos no local de estudo, o que poderia diluir as concentrações dos poluentes, ou potencializar as mesmas, trazendo poluentes de regiões perto à Cuiabá, MT, o que sem dúvida influenciaria o número de internações por doenças respiratórias.

Outra possível limitação é que, embora os dados das internações tenham sido obtidos de uma fonte oficial (Datusus) costumeiramente utilizada, estes dados podem conter erros diagnósticos, além de não oferecer informação sobre o estado nutricional dos pacientes, seu histórico médico, condição de moradia, se é fumante ativo ou passivo, entre outras que pode estar associadas às doenças respiratórias. Os dados de internação se referem somente àqueles ocorridos na rede pública, excluindo as internações de caráter privado ou por planos ou operadoras de saúde. Há que apontar que a fonte utilizada se presta principalmente para fins contábeis. Também não é possível saber se quem foi exposto foi internado ou se quem foi internado foi pela exposição ao particulado fino. O estudo indica uma associação e não uma causalidade. Mesmo assim, a qualidade e a confiabilidade das informações vêm sendo referendadas em outros estudos citados nesta pesquisa.

Embora existam tais limitações, foi possível encontrar associação entre a poluição e as internações por doenças respiratórias, onde a exposição ao PM_{2,5} teve significância estatística, e pode ser considerado fator de risco para doenças respiratórias. Também é importante destacar a importância da utilização do modelo CCATT-BRAMS, que permitiu a coleta dos dados das concentrações dos poluentes numa região sem estação medidora e sua aplicabilidade em outros municípios sem estações ambientais medidoras de poluição do ar.

Na análise que não inclui o CO como variável, não foi encontrada associação entre exposição ao PM_{2,5} e internações por doenças respiratórias. Quando analisado o PM_{2,5} em conjunto com o CO e as variáveis meteorológicas, focos de queimadas, sazonalidade e dias da semana, foi encontrada associação com internações nos sete lags estudados.

Apesar da vasta literatura sobre os efeitos deletérios da poluição, não foram encontradas muitas pesquisas que utilizem outras fontes de dados sem ser as agências ambientais e que estudem a associação com doenças respiratórias em residentes de municípios de médio porte, e esse estudo vem contribuir nesse foco.

Os resultados apresentados devem influir para que sejam desenvolvidas políticas públicas para a redução das concentrações de poluentes no ar, com redução dos custos para o Sistema Único de Saúde (SUS), para os doentes e seus familiares.

8. CONCLUSÕES

Foi possível identificar o papel do material particulado fino (PM_{2,5}) de forma isolada ou com outro poluente (CO) no número de internações por doenças respiratórias em pessoas internadas pelo SUS, em Cuiabá, MT.

Por meio dos dados estimados por modelo matemático como o *Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport Model to the Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System* (CCATT-BRAMS), se mostrou uma alternativa para municípios que não apresentam estações medidoras de concentrações dos poluentes do ar.

As taxas de internação por doenças específicas estudadas representaram em torno de 75% do total de internações dos códigos J00.0 a J99.9.

Os valores nas concentrações dos poluentes atingiram níveis acima dos limites considerados toleráveis para a saúde em menos de 3% do período estudado, porém, a exposição a esses poluentes apresenta uma forte associação com as internações e constituem risco significativo de internação por doenças respiratórias.

A diminuição nas concentrações de material particulado fino representaria uma diminuição significativa no número de internações e nos custos ao Sistema Único de Saúde.

A mistura de poluentes do ar na atmosfera, em conjunto com variáveis meteorológicas potencializam o efeito negativo na saúde da população, sendo associado às internações por doenças respiratórias em Cuiabá, MT.

Espera-se que os gestores municipais acompanhem e controlem sistematicamente as emissões de poluentes do ar e seu efeito sobre a saúde humana e, assim, implantem políticas públicas para melhorar o transporte público, diminuir as emissões de poluentes nas indústrias e no número de focos de queimadas forestais que contribuem com a poluição do ar.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBEX, M.A. et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

BOUBEL, R.W. et al. **Fundamentals of air pollution**. 3.ed. California: Elsevier, 1994.

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n.51, p. 58-71, 2001. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/35099>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciências Tecnologia e Inovação. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). **Qualidade do ar**. Disponível em: <<http://meioambiente.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 12 set. 2015.

BRASIL. Ministério de Saúde- Datasus . Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. **Morbidade Hospitalar do SUS**. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrmt.def>>. Acesso em: 23 Jun. 2015.

CANÇADO, J.E.D. et al . Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo , v. 32, n. 2, p. S5-S11, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132006000800003>. Acesso em: 03 Mar. 2016.

CASTRO, H.A. de C. et al. Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 26-34, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102009000100004>>. Acesso em: 01 out. 2015.

CÉSAR, A.C.G.; NASCIMENTO, L.F.C.; CARVALHO JR, J.A. Association between exposure to particulate matter and hospital admissions for respiratory disease in children. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n. 6, p. 1209-1212, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004713>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

CÉSAR, A.C.G. et al. Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children. **Revista Paulista de Pediatria**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 18-23, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rppede.2015.12.005>>. Acesso em: 17 dez. 2016.

CID-10/ Organização Mundial da Saúde; **tradução Centro Colaborador da OMS para a Classificação de Doenças em Português. 10a. ed. rev.** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=PQhs3Rx4b-8C&pg=PP2&lpg=PP2&dq=CID-10/+Organiza%C3%A7%C3%A3o+Mundial+da+Sa%C3%BAde;+tradu%C3%A7%C3%A3o+Centro+Colaborador+da+OMS+para+a+Classifica%C3%A7%C3%A3o+de+Doen%C3%A7as+em+Portugu%C3%AAs.+10.+Ed.+Rev.+%E2%80%93+S%C3%A3o+Paulo:+Editora+da+Universidade+de+S%C3%A3o+Paulo,+2007.&source=bl&ots=nl8CrGkSth&sig=MLhKzewOvKLkgyED1XiEexeCbJQ&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjMq4XvkLnSAhUGJCYKHWKTCGsQ6AEIMjAC#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 02 abr. 2015.

EBI, K.; MCGREGOR, G. Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 6, p. 2281-2293, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232009000600037&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 09 set. 2015.

LADEN, F. et al. Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, New York. v. 173, n. 6, p. 667–672, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200503-443OC>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; ANDREAE, M.O. Impact of including the plume rise of vegetation fires in numerical simulations of associated atmospheric pollutants. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 17, p. 808, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006GL026608/abstract>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

FREITAS, S.R et al. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. **Atmospheric Chemistry and Physics**. v. 7, p. 8525-69, 2007. Disponível em: < <http://www.atmos-chem-phys.net/9/2843/2009/acp-9-2843-2009.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

FREITAS, C.U. et al. Air pollution and its impacts on health in Vitoria, Espírito Santo, Brazil. **Revista Saúde Pública**, São Paulo. v. 50, n. 4, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050005909>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

GAVINIER, S.; NASCIMENTO, L.F.C. Material particulado e internações por doenças isquêmicas do coração em Sorocaba, SP. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 4, p. 228-236, 2014. Disponível em: <<http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/1418>>. Acesso em: 04 dez. 2015.

GEVAERD, R.; FREITAS, S.R. Estimativa operacional da umidade do solo para inicialização de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: Descrição da metodologia e validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Jose dos Campos, v. 21, n. 3, p. 1-15, 2006. Disponível em: <http://brams.cptec.inpe.br/~rbrams/papers/LBA011a-2006_RGevaerd.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2016.

GOMISCEK, B. et al. Spatial and temporal variations of PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and particle number concentration during the AUPHEP—project. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 24, p. 3917–3934, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231004002997>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

GONÇALVES, K. dos S.; CASTRO, A. de H.; HACON, S. de S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1523-1532, 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/630/63023390017.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

GOUVEIA, N. Et al. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas á contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 12, p. 2669-2677, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2006001200016>. Acesso em: 30 abr. 2015.

GRELL, G. A.; DEZSO, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 14, p. 38-1–38-4, 2002. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GL015311/pdf>>. Acesso em: 17 set. 2015.

GUO, Y. et al. The association between fine particulate air pollution and hospital emergency room visits for cardiovascular diseases in Beijing, China. **Science Total Environmental**,

Amsterdam, v. 407, p. 4826-4830, 2009. Disponível em: <<https://science.report/pub/5628966>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

HALONEN, J.I. et al. Particulate air pollution and acute cardiorespiratory hospital admissions and mortality among the elderly. **Epidemiology**, Cambridge, v. 20, p. 143-153. 47. 2009. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19234403>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=510340>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

International Geosphere Biosphere Programme - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (IGBP-INPE). **Previsão Climática**. 2015. Disponível em: <<http://edcdaac.usgs.gov/glcc/glcc.html>, <http://www.cptec.inpe.br/proveg/>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

IGNOTTI, E. et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 26, p. 747-761. 2010a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2010000400017>>. Acesso em : 28 fev. 2016.

IGNOTTI, E. et al. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 44, p. 121-130 2010b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102010000100013>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

JASINSKI, R.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.27, n. 11, p. 2242-2252, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2011001100017>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

KNOL, A.B.; HARTOG J.J.; BOOGAARD, H.; SLOTTJE, P.; VAN DER SLUIJS, J.P. LEBRET E. et al. Expert elicitation on ultrafine particles: likelihood of health effects and causal pathways. **Particle and Fibre Toxicology**, Amsterdam, v. 24, p. 6-19, 2009. Disponível em: <<http://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-8977-6-19>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

LEITTE, AM.; SCHLINK, U.; HERBARTH, O.; WIEDENSOHLER, A; PAN, X.C; Size-segregated particle number concentrations and respiratory emergency room visits in Beijing, China. **Environmental Health Perspectives**, Baltimore, v. 119, n. 4, p. 508-513, 2011. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21118783>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

LONGO, K.M. et al. The Coupled aerosol and tracer transport model to the Brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (CATT-BRAMS). Part 2: model sensitivity to the biomass burning inventories. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussion**, European Geosciences Union, v.7, n. 3, p.8571-8595, 2007. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00302886>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

LOPES, F.S.; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 215-225, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2006000200008>. Acesso em: 26 ago. 2015.

MANTOVANI, K.C.C. **Estudo dos poluentes do ar em um município de médio porte por meio dos dados estimados pelo Modelo CCATT-BRAMS**. 2016, 89f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

MASCARENHAS, M.D.M. et al. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 34, no. 1, p. 42-46, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132008000100008>. Acesso em: 24 abr. 2015.

NARDOCCI AC. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 9, p. 1867-1876. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2013000900025>. Acesso em: 28 fev. 2016.

NASCIMENTO, L.F.C.; FRANCISCO, J.B. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio

de Janeiro, v. 29, n. 8, p. 1565-1571, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v29n8/v29n8a09.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

NASCIMENTO, L.F.C.; MEDEIROS, A.P.P. Internações por pneumonias e queimadas: uma abordagem espacial. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 88, n. 2, p. 177-183, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0021-75572012000200014&script=sci_abstract&tlng=es>. Acesso em: 12 jun. 2016.

NASCIMENTO, L.F.C. et al. Association between concentrations of air pollutants and mean time of hospitalization due to pneumonia in children. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, p. 221, 2014. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/files/Ambi_Agua_V8_N4.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2016.

NASCIMENTO, L.F.C. et al. Effects of air pollution on children's health in a city in Southeastern Brazil. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n.1, p. 77-82, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-89102006000100013&script=sci_arttext&tlng=en>. Acesso em: 21 ago. 2015.

NASCIMENTO, L.F.C. et al. Air pollution and respiratory diseases: ecological time series. **Sao Paulo Medical Jornal**, São Paulo, v. 134, n. 4, p. 315-321, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1516-3180.2015.0237250216>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

OLIVEIRA, B.F.A.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 9, p. 1678-1698, 2011(a). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2011000900003>. Acesso em: 07 dez. 2015.

OLIVEIRA, M.S. et al. Differential susceptibility according to gender in the association between air pollution and mortality from respiratory diseases. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 9, p. 1827-1836, 2011(b). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2011000900016>>. Acesso em: 09 abr. 2015.

LOUDIN, A. et al. Long-term exposure to air pollution and hospital admissions for ischemic stroke. A register-based case-control study using modelled NO(x) as exposure proxy. **BMC Public Health**, v. 9, p. 301, 2009. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2736944/>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

OWEN, B.T.; ACKERMAN, T.P. Algorithms for the calculation of scattering by stratified spheres. **Applied Optics**, v. 20, n. 20, p. 3657-3660, 1981. Disponível em: <<https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?URI=ao-20-20-3657>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

PRINS, E.M. et al. An Overview of GOES-8 Diurnal Fire and Smoke Results for SCAR-B and 1995 Fire Season in South America. **Journal of Geophysical Research**, New York, v. 103, n. D24, p. 31821-31835, 1998. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/98JD01720/epdf>>. Acesso em 27 set. 2015.

PROCOPIO, A.S.; REMER, L.A.; ARTAXO, P.; KAUFMAN, Y.J.; HOLBEN, B.N. Modeled spectral optical properties for smoke aerosols in Amazonia. **Geophysical Research Letters**, Stanford, v. 30, n. 24, p.2265, 2003. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003GL018063/abstract>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

ROMAN, V.V.L. et al. Efeitos de poluentes do ar e doenças respiratórias utilizando dados estimados por modelo matemático. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté. v. 10, n.4, p. 825-831, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1592>>. Acesso em 23 set. 2016.

SAMOLI, E. et al. Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. **Environmental Health Perspectives**, Baltimore, v. 116, n. 11, p. 1480–1486, 2008. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19057700>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

SANTOS, U.P. et al. Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in Sao Paulo, Brazil. **Jornal of Epidemiology and Community Health**, London, v. 62, n. 3, p. 267-272, 2008. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18272743>>. Acesso em: 25 mar. 2016.

SCOTT, A.W. et al. Fine particulate matter and emergency room visits for respiratory illness. effect modification by oxidative potential. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, New York, v. 194, n. 5. p. 577–586, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201512-2434OC>>. Acesso em : 13 dez. 2016.

SILVA, A.M.C. et al. Particulate matter (PM_{2.5}) of biomass burning emissions and respiratory diseases in the South of the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 337-351, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-790X2010000200015>>. Acesso em 29 dez. 2015.

SILVA, A.M.C. et al. Material particulado originario de queimadas e doenças respiratorias. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v.47, n. 2, p. 345-352, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004410>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

SILVA, P.R. et al. High risk of respiratory diseases in children in the fire period in Western Amazon. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 50, n. 29, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102016000100217&lng=en&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 02 out. 2016.

SIMKHOVICH, B.Z.; KLEINMAN, M.T.; KLONER, R.A. Particulate air pollution and coronary heart disease. **Current Opinion in Cardiology**, New York, v. 24, n. 6, p. 604-609, 2009. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19696664>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

SLAUGHTER, J.C. et al. Association between particulate matter and emergency room visits, hospital admissions and mortality in Spokane, Washington. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, Princeton, v. 15 n. 2, p. 153-159, 2005. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15187986>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

SOUZA, J.B. et al. Principal components and generalized linear modeling in the correlation between hospital admissions and air pollution. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 48, n. 3, p. 451-458, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102014000300451>. Acesso em: 25 mar. 2016.

SOUSA, E.H.V. **Análise preditiva a partir da caracterização das emissões gasosas e do óleo lubrificante em frotas com motorização a diesel**. 2010. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

STEWART, R.R. et al. Experimental human exposure to carbon monoxide. **Archives of Environmental Health**, Boston, v. 21, n. 2, p. 154 - 164, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00039896.1970.10667214>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

STIEB, D.M.; SZYSZKOWICZ, M.; ROWE, B.H.; LEECH, J.A. Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. **Environmental Health**, Boston, v. 8, n. 1, p. 25, 2009. Disponível em: <<https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-8-25>>. Acesso em: 17 set. 2015.

TOLBERT, P.E. et al. Multipollutant modeling issues in a study of ambient air quality and emergency department visits in Atlanta. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, New York, v. 17, n. 2, p. 29–35, 2007. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18079762>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

TOON, O.B. et al. Rapid calculation of radiative heating rates and photodissociation rates in inhomogeneous multiple scattering atmospheres. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 94, n. D13, p. 16287–16301, 1989. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JD094iD13p16287/abstract>>. Acesso em: 22 mai. 2016.

TREMBACK, C.J. et al. The forward in time upstream advection scheme: extension to higher orders. **American Meteorological Society, Monthly Weather Review**, Boston, v. 115, n. 2, p. 540-555, 1987. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493\(1987\)115%3C0540%3ATFTUAS%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493(1987)115%3C0540%3ATFTUAS%3E2.0.CO%3B2)>. Acesso em: 14 fev. 2016.

TRIPOLI, G.J.; COTTON, W.R. The Colorado State University three-dimensional cloud/mesoscale model –1982. Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments. **Journal de Recherches Atmospheriques**, Clermont-Ferrand, v. 16, p. 185-220, 1982. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285808075_The_Colorado_State_University_three-dimensional_cloudmesoscale_model_-_1982_Part_I_general_theoretical_framework_and_sensitivity_experiments>. Acesso em: 19 nov. 2015.

WALKO, R. et al. Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 39, n. 6, p. 931-944, 2000. Disponível em: <<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/adwgandu/DESATIVADOS/PRE->

2008/Gandu_UNALM_Peru_2007_old/BRAMS_ARTIGOS/Walko_LEAF2.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2016.

WHO (World Health Organization). **Air quality guidelines global update:** report on a working group meeting. Geneve, 2005. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/147851/E87950.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2015.

10. APÊNDICE A - Resultados dos cálculos da variação no número de internações por doenças respiratórias e nos custos ao SUS quando aumentadas ou diminuídas em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações do $\text{PM}_{2,5}$.

Para o Lag 0:

- Foi calculado o Risco Relativo (RR) para internação por doenças respiratórias:

$$\text{RR} = \exp(\beta)$$

Onde β é o coeficiente obtido pela Regressão de Poisson.

$$\beta = \mathbf{0,114289}$$

$$\text{RR} = \exp(\beta) \rightarrow \exp(0,114289) \rightarrow 1,1211.$$

$$\text{RR} = \mathbf{1,1211}$$

- Foi calculado o Risco Relativo (RR) para internação por doenças respiratórias quando aumentadas em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações do $\text{PM}_{2,5}$.

$$\text{RR} = \exp(\beta * \Delta\text{poluente})$$

Onde $\Delta\text{poluente}$ foi $5\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$\text{RR} = \exp(\beta * \Delta\text{poluente}) \rightarrow \exp(0,114289 * 5) \rightarrow \exp(0,571444) \rightarrow 1,7708.$$

$$\text{RR} = \mathbf{1,7708}$$

- Foi calculada a razão atribuível proporcional (RAP) segundo a expressão:

$$\text{RAP} = [1 - 1/\text{RR}]$$

Onde RR= risco relativo com aumento.

$$\text{RR} = \mathbf{1,7708}$$

$$\text{RAP} = 1 - 1/\text{RR} \rightarrow 1 - 1/1,7708 \rightarrow 1 - 0,565 \rightarrow 0,435.$$

$$\text{RAP} = \mathbf{0,435}$$

- Com este valor, foi estimada a fração atribuível populacional (FAP) que permitiu estimar o número de internações associado a este aumento:

$$\text{FAP} = \text{RAP} * N$$

Onde N é o número de internações por doenças respiratórias no período estudado.

$$N = \mathbf{3837}$$

$$\text{FAP} = \text{RAP} * N \rightarrow 0,435 * 3837 \rightarrow 1669$$

$$\text{FAP} = \mathbf{1670}$$

Quando aumentadas em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações do $\text{PM}_{2,5}$ para o Lag 0, o número de internações por doenças respiratórias associadas é de 1670.

- Foi estimado o custo que poderia ser evitado ao Sistema de Saúde com a diminuição em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações do $\text{PM}_{2,5}$, segundo o custo médio de cada internação para estas doenças obtidos do Datasus.

Custo medio = R\$ **1007,69**

Redução = FAP * custo medio $\rightarrow 1670 * 1007,69 \rightarrow 1,683$

Redução = R\$ **1,683** milhão.

Para o Lag 7:

- Foi calculado o Risco Relativo (RR) para internação por doenças respiratórias:

$$\text{RR} = \exp(\beta)$$

Onde β é o coeficiente obtido pel Regressão de Poisson.

$\beta = 0,087606$

$\text{RR} = \exp(\beta) \rightarrow \exp(0,087606) \rightarrow 1,0916$.

RR = 1,0916

- Foi calculado o Risco Relativo (RR) para internação por doenças respiratórias quando aumentadas em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações do $\text{PM}_{2,5}$.

$$\text{RR} = \exp(\beta * \Delta\text{poluente})$$

Onde $\Delta\text{poluente}$ foi $5\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$\text{RR} = \exp(\beta * \Delta\text{poluente}) \rightarrow \exp(0,087606 * 5) \rightarrow \exp(0,438028) \rightarrow 1,5496$.

RR = 1,5496

- Foi calculada a razão atribuível proporcional (RAP) segundo a expressão:

$$\text{RAP} = [1 - 1/\text{RR}]$$

Onde RR= risco relativo com aumento.

RR = 1,5496

$\text{RAP} = 1 - 1/\text{RR} \rightarrow 1 - 1/1,5496 \rightarrow 1 - 0,645 \rightarrow 0,355$.

RAP = 0,355

- Com este valor, foi estimada a fração atribuível populacional (FAP) que permitiu estimar o número de internações associado a este aumento:

$$FAP = RAP * N$$

Onde N é o número de internações por doenças respiratórias no período estudado.

$$N = \mathbf{3837}$$

$$FAP = RAP * N \rightarrow 0,355 * 3837 \rightarrow 1669.$$

$$FAP = \mathbf{1361}$$

Quando aumentadas em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ as concentrações do $\text{PM}_{2,5}$ para o Lag 7, o número de internações por doenças respiratórias associadas é de 1361.

- Foi estimado o custo que poderia ser evitado ao Sistema de Saúde com a diminuição em $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações do $\text{PM}_{2,5}$, segundo o custo médio de cada internação para estas doenças obtidos do Datasus.

$$\text{Custo medio} = \text{R\$ } \mathbf{1007,69}$$

$$\text{Redução} = FAP * \text{custo medio} \rightarrow 1361 * 1007,69 \rightarrow 1,683$$

$$\text{Redução} = \text{R\$ } \mathbf{1,371} \text{ milhão.}$$