SUZANA DE SOUZA RODRIGUES

**Efeitos da Poluição Atmosférica na Saúde da
População do Estado de Mato Grosso
(Amazônia Legal Brasileira)**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutora em Ciências

Programa de Patologia

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Alberto Amador Pereira

Versão corrigida. Resolução CoPGr 6018, de 13 de Outubro de 2011

A versão original está disponível na Biblioteca da FMUSP

São Paulo

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Rodrigues, Suzana de Souza
Efeitos da poluição atmosférica na saúde da
população do estado de Mato Grosso (Amazônia Legal
Brasileira) / Suzana de Souza Rodrigues. -- São
Paulo, 2017.
Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo.
Programa de Patologia.
Orientador: Lúiz Alberto Amador Pereira.

Descritores: 1.Material particulado 2.Monóxido de
carbono 3.Estudos de séries temporais 4.Análise
espacial 5.Doenças respiratórias 6.Doenças
cardiovasculares

USP/FM/DBD-383/17

AGRADECIMENTOS

Ao prof. dr. Luiz Alberto Amador Pereira, meu orientador, pelo apoio durante todo o tempo do doutorado, pela paciência e disponibilidade.

Ao prof. dr. Paulo Hilário Nascimento Saldiva por me dar a oportunidade de fazer o doutorado aqui na Faculdade de Medicina.

Ao prof. dr. Francisco Chiaravalloti Neto pela ajuda, paciência e disponibilidade para dividir seu conhecimento de análise espacial.

Ao prof. dr. Alfésio Luis Ferreira Braga pelo apoio durante o desenvolvimento do projeto e por sua contribuição na banca de qualificação.

Ao prof. dr. Oswaldo Santos Baquero pelas dúvidas sanadas com as análises.

À profa. dr. Gleice Margarete de Souza Conceição pela ajuda com as séries temporais.

À Samira Possebom do Prado por sempre estar por perto quando preciso há quase vinte anos e por me ajudar com a revisão da tese.

Ao Guilherme Martins Pereira pela amizade, parceria e ajuda na correção da tese.

Aos colegas e professores do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental do Departamento de Patologia pelo suporte.

Ao governo do estado de Mato Grosso por me permitir desenvolver essa pesquisa.

NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de International Committee of Medical Journals Editors (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Divisão de Biblioteca e Documentação. Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3a ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com List of Journals Indexed in Index Medicus.

Sumário

Lista de figuras	
Lista de tabelas	
Lista de abreviaturas e siglas	
Lista de símbolos	
Resumo	
Abstract	
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Poluentes.....	01
1.2 Queimadas.....	05
1.3 Histórico do estado.....	07
1.4 A Evolução da atividade agrícola no estado.....	09
1.5 Marcos Regulatórios.....	10
1.6 Programas de combate às queimadas.....	12
1.7 Programa VIGIAR.....	13
2 JUSTIFICATIVA.....	14
3 OBJETIVO GERAL.....	15
4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
5 MÉTODOS	16
5.1 Delineamento do estudo.....	16
5.2 Área de estudo.....	16
5.3 Definição de focos de queimadas do INPE.....	20
5.4 Descrição da aquisição e análise dos dados.....	22
5.4.1 Análise 1.....	23

5.4.2 Análise 2.....	24
5.4.3 Análise 3.....	25
5.5 Descrição das metodologias estatísticas utilizadas.....	26
5.6 Programas utilizados.....	31
5.7 Questões éticas.....	31
6 RESULTADOS.....	32
6.1 Análise 1.....	32
6.2 Análise 2.....	38
6.3 Análise 3.....	75
7 DISCUSSÃO.....	83
7.1 Análise 1.....	83
7.2 Análise 2.....	85
7.3 Análise 3.....	89
7.4 Considerações finais.....	93
8 CONCLUSÕES.....	94
9 ANEXO 01.....	95
10 REFERÊNCIAS.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa da Amazônia Legal.....	17
Figura 2 Mapa do Arco do Desmatamento.....	19
Figura 3 Mapa do estado de Mato Grosso destacando os 15 municípios estudados.....	24
Figura 4 Número de internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos.....	34
Figura 5 Número de internações por problemas respiratórios em menores de 5 anos.....	35
Figura 6 Número de focos semanais de queimadas.....	36
Figura 7 Concentração de material particulado ao longo do tempo.....	39
Figura 8 Concentração de monóxido de carbono ao longo do tempo.....	40
Figura 9 Internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos.....	41
Figura 10 Internações por problemas respiratórios em menores de 5 anos.....	42
Figura 11 Internações por problemas cardiovasculares em maiores de 60 anos.....	43
Figura 12 Internações por problemas cardiovasculares entre 30 e 59 anos.....	44
Figura 13 Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças respiratórias em maiores de 60 anos.....	46
Figura 14 Análise de resíduos.....	47
Figura 15 Gráfico da função de autocorrelação.....	48
Figura 16 Curvas alisadas do efeito do monóxido de carbono, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças respiratórias em maiores de 60 anos.....	49
Figura 17 Análise de Resíduos.....	50
Figura 18 Gráfico da Função de Autocorrelação.....	51
Figura 19 Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos.....	52
Figura 20 Análise de Resíduos.....	53
Figura 21 Gráfico da Função de Autocorrelação.....	54
Figura 22 Curvas alisadas do efeito do monóxido de carbono, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos.....	55
Figura 23 Análise de Resíduos.....	56
Figura 24 Gráfico da Função de Autocorrelação.....	57

Figura 25 Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da temperatura sobre interações por doenças cardiovasculares em maiores de 60 anos.....	58
Figura 26 Análise de Resíduos.....	59
Figura 27 Gráfico da Função de Autocorrelação.....	60
Figura 28 Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da Temperatura sobre interações por doenças cardiovasculares entre 30 e 59 anos.....	61
Figura 29 Análise de Resíduos.....	62
Figura 30 Gráfico da Função de Autocorrelação.....	63
Figura 31 Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem.....	64
Figura 32 Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem.....	65
Figura 33 Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem.....	66
Figura 34 Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem.....	67
Figura 35 Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem.....	68
Figura 36 Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem.....	70
Figura 37 Comparação entre as curvas alisadas com defasagem.....	72
Figura 38 Comparação entre as curvas alisadas com defasagem.....	73
Figura 39 Aglomerados formados na análise de Moran.....	75
Figura 40 Aglomerados formados na análise de Moran.....	76
Figura 41 Aglomerados formados na análise de Moran.....	77
Figura 42 Aglomerados formados na análise de Moran.....	78
Figura 43 Aglomerados formados na análise de Moran.....	79
Figura 44 Aglomerados formados na análise de Moran.....	80
Figura 45 Aglomerados formados na análise de Moran.....	81
Figura 46 Aglomerados formados na análise de Moran.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Focos de queimadas em MT.....	20
Tabela 2 Análise descritiva dos dados do período de seca.....	32
Tabela 3 Análise descritiva dos dados do período úmido.....	33
Tabela 4 Resultado da regressão.....	37
Tabela 5 Análise descritiva.....	38
Tabela 6 Nível de significância das variáveis do modelo.....	46
Tabela 7 Nível de Significância das variáveis do modelo.....	50
Tabela 8 Nível de Significância das variáveis do modelo.....	53
Tabela 9 Nível de Significância das variáveis do modelo.....	55
Tabela 10 Nível de Significância das variáveis do modelo.....	58
Tabela 11 Nível de Significância das variáveis do modelo.....	61
Tabela 12 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	64
Tabela 13 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	65
Tabela 14 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	67
Tabela 15 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	68
Tabela 16 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	69
Tabela 17 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	71
Tabela 18 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	72
Tabela 19 Nível de Significância das diferentes defasagens.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BR – Rodovia federal

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

PRONAR – Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

OMS – Organização Mundial da Saúde

PPCDAM – Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal

GPTI – Grupo Permanente de Trabalho Interministerial

ENREDD+ - Estratégia Nacional para REDD+

REDD+ - *Reducing emissions from deforestation and forest degradation*

PPCDMT - Plano de ação de prevenção e controle do desmatamento e queimadas no estado do Mato Grosso

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

UNFCCC- *United nations framework convention on climate change*

CDB - Convenção de Conservação da Biodiversidade

VIGIAR – Programa de Vigilância em Saúde Ambiental relacionado à Qualidade do Ar

SVS – Secretaria de Vigilância em Saúde

MS – Ministério da Saúde

VIGISUS – Projeto de estruturação do Sistema Nacional de Vigilância em Saúde

SUS – Sistema Único de Saúde

SPVEA – Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia

SUDAM - Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

SISAM - Sistema de Informações Ambientais

SEMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente

UNESP – Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

μm – micrômetro

PM – material particulado

% - percentual

HPA – hidrocarboneto policíclico aromático

CO – monóxido de carbono

COHb – Carboxihemoglobina

SO₂ – dióxido de enxofre

NO – monóxido de nitrogênio

NO₂ – dióxido de nitrogênio

HC – hidrocarbonetos

MEC - Massa de Ar Equatorial Continental

ppm- partes por milhão

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ - microgramas por metro cúbico

CO₂ – gás carbônico

km^2 – quilômetros quadrados

% - por cento

°C – graus Celsius

mm - milímetros

GEEs – gases do efeito estufa

ppb – partes por bilhão

Km– quilômetro

m – metro

4As - Áreas de Atenção Ambiental Atmosférica

SPSS - Statistical Package for the Social Sciences

CID – Classificação Internacional de Doenças

AIC – Akaike information criterion

SIRGAS – Sistema de Referência Geométrico para as Américas

ZEE – Zoneamento ecológico econômico

Rodrigues SS. Efeitos da Poluição Atmosférica na Saúde da População do Estado de Mato Grosso (Amazônia Legal Brasileira) [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2017.

RESUMO

INTRODUÇÃO: Mato Grosso é um dos estados que mais queimam no país e há poucos e recentes estudos que discutem os efeitos adversos da poluição do ar na saúde da população do estado.

OBJETIVO: Investigar a relação entre poluição atmosférica e internações por doenças respiratórias e cardiovasculares no estado de Mato Grosso. **METODOLOGIA:** Uma análise de

série temporal foi aplicada para verificar a associação entre queimadas e agravos, com dados semanais. O período estudado foi de primeiro de janeiro de 2008 a 31 de agosto de 2014, foi

estudado o estado todo e na análise foi usada Regressão Binomial Negativa, com Modelo Aditivo Generalizado. A única variável que não apresentou relação linear com a variável dependente foi

Semana e uma função do tipo Spline foi usada, por este motivo somente ela foi alisada para se controlar este padrão de efeito, com estrutura de defasagem de 1 a 4 semanas. Na segunda

análise, outra série temporal, cujo objetivo era investigar os efeitos da variação diária do material particulado e o monóxido de carbono com as internações. O período analisado foi de

primeiro de janeiro de 2012 a 30 de junho de 2015, foram estudados quinze municípios e para a análise foram utilizadas Regressões de Poisson e Binomial Negativa, com Modelos Aditivos

Generalizados, dependências não lineares entre variáveis explicativas e variáveis resposta foram controladas usando um alisador do tipo Spline, a estrutura de defasagem foi de 1 a 7 dias. A

terceira abordagem, foi uma Análise de Autocorrelação Espacial do tipo Moran, onde foi estudado o estado todo em dois períodos: Primeiro de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de

2010 e de primeiro de janeiro de 2011 a 31 dezembro de 2016. Foram montados bancos de dados usando incidências e número de focos de queimadas por área para verificar o

agrupamento dos municípios de acordo com o Moran Local, foram montados mapas temáticos dos índices univariados e bivariados. **RESULTADOS:** Na primeira análise, foram encontradas

associações significativas entre queimadas e internações por problemas respiratórios em menores de 5 anos: lag 0 (RR = 1,001; IC 95% = 1,00016 – 1,00279), lag 1 (RR = 1,001; IC 95% =

1,00005 – 1,00265) e lag 4 (RR = 1,002; IC 95% = 1,00079 – 1,00342) e associação significativa em maiores de 60 anos somente para lag 0 (RR = 1,001; IC 95% = 1,00013 – 1,00256). Na segunda

análise, houveram associações significativas entre todos os agravos e poluentes, exceto para problemas cardiovasculares e monóxido de carbono. Foram encontradas associações com

diversas defasagens entre todos os agravos e poluentes. Na análise espacial, para o período

entre 2003 e 2010, foram encontrados aglomerados significativos com formato de arco para o Moran univariado de queimadas e bivariado. Para o período de 2011 a 2016, os aglomerados univariado de queimadas e bivariado se concentraram no nordeste do estado. **CONCLUSÕES:** Nas análises de séries temporais foram encontradas associações entre queimadas e agravos e entre poluentes e agravos (semana e dia), inclusive com defasagens (semana e dia) em ambas as análises. Na análise espacial, a mudança do “cluster” entre os períodos estudados mostra a mudança da expansão da fronteira agrícola, antes seguindo o arco de desmatamento e agora abrindo áreas remanescentes no estado, onde o desmatamento é realizado com o uso das queimadas que podem causar doenças respiratórias e cardiovasculares.

Descritores: material particulado; monóxido de carbono; estudos de séries temporais; análise espacial; doenças respiratórias; doenças cardiovasculares.

Rodrigues SS. Effects of Atmospheric Pollution on Health Population in the State of Mato Grosso (Brazilian Legal Amazon) [thesis]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2017.

ABSTRACT

INTRODUCTION: The State of Mato Grosso is one of the places in the country and there are few and recent studies discussing the adverse health effects of air pollution on the population in this state. **OBJECTIVE:** To investigate the relationship between atmospheric pollution and hospitalizations for respiratory and cardiovascular diseases in the state of Mato Grosso. **METHODOLOGY:** A time series analysis was applied in order to verify the association between number of vegetation burns and diseases. Data were recorded weekly. The period studied was from January 1, 2008 to August 31, 2014, the entire state was studied and it was used Negative Binomial Regression with Generalized Additive Model. The only variable that did not present a linear relationship with the dependent variable was Week and a spline-type function was used to address this pattern of effect, a lag structure up to four weeks was applied. In a second approach, other time series analysis, in order to investigate the effects of daily variations of particulate matter and carbon monoxide on hospitalizations pollutant-specific. The period analyzed was from January 1, 2012 to June 30, 2015, fifteen municipalities were studied and Generalized Additive with Poisson or Negative Binomial Regressions models were used, Non-linear dependencies between the outcomes and covariables was controlled using spline-type smoother. A lag structure up to seven days was applied. To explore spatial patterns of occurrence a Moran Spatial Autocorrelation Analysis was carried out, where the whole state was studied in two periods: January 1, 2003 to December 31, 2010, and from January 1, 2011 to December 31, 2016. Databases were assembled using incidences and number of fires per area, to verify the “cluster” formation of municipalities according to Local Moran, thematic maps of the univariate and bivariate indices were set up. **RESULTS:** In the first analysis, there were significant associations between burns and hospitalizations due to respiratory problems in children under 5 years of age: lag 0 (RR = 1.001, 95% CI = 1.00016 – 1.00279), lags 1 (RR = 1.001, 95% CI = 1.00005 - 1.00265) and lag 4 (RR = 1.002, 95% CI = 1.00079 - 1.00342) and significant association in patients over 60 years only for lag 0 (RR = 1.001, 95% CI = 1.000-13 - 1.00256). For the second analysis, there were significant associations between all the diseases and pollutants, except for cardiovascular problems and carbon monoxide. Associations with different lags between all the diseases and pollutants were found. In the spatial analysis, for the period

between 2003 and 2010, significant “clusters” with arc shape were found for the univariate “clusters” of fires and bivariate. For the period of 2011 and 2016, the univariate “clusters” of fires and bivariate were concentrated in the northeast of the state. **CONCLUSIONS:** In time series analyses, associations between burnings and injuries and between pollutants and injuries were found, at the same period of exposure (week or day) and in subsequent periods (weeks or days). Spatially, the “cluster” change between the studied periods shows the change in the expansion of the agricultural frontier, before following the arc of deforestation and now opening remaining areas in the state. Deforestation is carried out with the use of forest fires that can promote respiratory and cardiovascular diseases.

Descriptors: particulate matter; carbon monoxide; time series studies; spatial analysis; respiratory tract diseases; cardiovascular diseases.

1- INTRODUÇÃO

As queimadas são um problema global, com episódios que fogem do controle, podendo destruir áreas imensas, até cidades inteiras e matar pessoas, em casos mais extremos. Mesmo países ricos apresentam problemas com as queimadas, como os Estados Unidos, países da Europa e Austrália.

No Brasil, o fogo é amplamente utilizado para limpeza de terrenos e também podem fugir do controle, alcançando a vegetação nativa, podendo levar a grandes desastres naturais e até humanos como a queimada de cidades inteiras como ocorreu na cidade de Marcelândia - Mato Grosso, em 2010.

Porém, nem sempre os efeitos negativos do fogo são tão evidentes como em casos dramáticos como a destruição de cidades. As queimadas podem afetar a saúde da população exposta à fumaça, assim como a poluição urbana prejudica a saúde da população.

O estado de Mato Grosso, localizado inteiramente na Amazônia Legal, nos últimos anos está entre os estados que mais queimam no país. Esses incêndios estão concentrados no período de seca e costumam emitir uma grande quantidade de poluentes para a atmosfera. A população, durante uma parte do ano, fica exposta a altas concentrações de poluentes.

Ainda há poucas e concentradas pesquisas estudando os impactos das emissões das queimadas na saúde da população da região amazônica, por isso é importante o desenvolvimento de cada vez mais pesquisas na região e assim, contribuir para o entendimento dos efeitos das queimadas na saúde da população do estado.

1.1 – Poluentes

Material particulado e impactos sobre a saúde

O material particulado se refere a uma mistura suspensa no ar de partículas sólidas e líquidas que variam em tamanho, composição, origem e efeito. O material particulado é formado pela condensação de gases ou vapores, ou por processos mecânicos. Os diferentes processos de formação levam a características diferenças na composição e no tamanho das partículas. (1)

As partículas grosseiras, com diâmetro superior a 2,5 μm , são formadas principalmente por poeira do solo carregada pelo vento, estradas não pavimentadas, tráfego, demolição e construção, evaporação do spray do mar, pólen, esporos e partes de plantas e insetos. (2)

As partículas finas, menores do que 2,5 μm , são normalmente formadas por processos de combustão, ou reações químicas com gases atmosféricos, compostos orgânicos voláteis e gotículas de ácidos em suspensão. São compostas por metais e óxidos de metais, carbono negro, compostos orgânicos e íons (entre eles sulfatos, nitratos e amoníacos). (3)

As partículas maiores do que 10 μm são retidas no nariz e nasofaringe e eliminadas pela deglutição, tosse, espirros e pelo aparelho mucociliar. Partículas menores do que 10 μm , podem ser depositadas na traqueia e nos brônquios, enquanto as partículas menores do que 2,5 μm , tendem a se depositar nos bronquíolos. Nos alvéolos ocorre a deposição de partículas com diâmetro entre 1 a 2 μm . (4)

O PM 2,5 – considerada a fração fina do material particulado – é a porção, que é provavelmente mais produzida durante a combustão de matéria orgânica, enquanto a fração do PM 10, parte da fração maior do material particulado, inclui as partículas de ressuspensão do solo e de cinzas, (5) logo o PM 2,5 é a fração mais relevante para estudar os impactos na saúde do material particulado.

Mesmo em baixas concentrações, as partículas finas causam mudança na função pulmonar, levando ao aumento na mortalidade por doenças pulmonares e cardiovasculares e aumento nos agravos à saúde, como a asma. (6)

Estudos realizados nas últimas décadas têm demonstrado que o material particulado em suspensão pode causar efeitos adversos à saúde, mesmo em níveis abaixo dos padrões de qualidade do ar que têm sido fixados em vários países desenvolvidos, e também no Brasil. Estudos epidemiológicos realizados em regiões urbanas têm sido incapazes de definir um nível abaixo do qual não haja ocorrência de efeitos à saúde humana decorrentes da exposição ao particulado em suspensão nessas áreas. (6) Esse material particulado urbano tem na sua constituição produtos da combustão incompleta em veículos automotores, fornos, caldeiras, entre outros. (7)

As mais altas concentrações de material particulado ocorrem na queima de biomassa dentro de casa, em países em desenvolvimento e em queimadas florestais. Estes níveis são 10 a 70 vezes acima do observado em áreas urbanas. (5)

Sendo que 60 a 70% do material particulado emitido é de origem no carbono orgânico.(5)

Um aspecto muito importante relacionado às emissões de queimadas é seu efeito a longo prazo, com aumento do risco de neoplasias pela presença de substâncias cancerígenas ou suspeitas de ação cancerígena, como as dioxinas, furanos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Esses compostos podem estar presentes tanto no material particulado quanto na fase gasosa. O material particulado resultante da combustão incompleta – como a que ocorre nas queimadas – é reconhecidamente cancerígeno em animais (7) e também pode causar diferentes tipos de câncer em humanos. (8)

Monóxido de carbono e impactos sobre a saúde

O monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico, sem cor e sem odor, que resulta da combustão incompleta do carbono em combustíveis, em incêndios, ou em queima de lenha em fogões ou lareiras. (7)

Quando atinge a corrente sanguínea, são formadas moléculas de carboxihemoglobinas (COHb) em resposta à exposição ao CO, que o transportam no lugar do oxigênio, pelo sangue. (5) O CO apresenta 240 vezes mais afinidade do que o oxigênio pela hemoglobina, o que faz com que uma pequena quantidade de moléculas de CO possa saturar grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo assim a sua capacidade de transportar O₂, logo o monóxido de carbono atua diminuindo a liberação de oxigênio para os tecidos. (4)

Uma redução no nível de oxigênio nos tecidos causada por COHb pode ter acentuados efeitos adversos à saúde. Pequenos aumentos de carboxihemoglobina em pacientes com doenças isquêmicas do coração causam diminuição de tolerância a exercícios. Além disso, uma associação entre aumento de doenças cardiovasculares e níveis elevados de CO no ambiente foi detectada. (7)

Exposição a pequenas e moderadas concentrações de monóxido de carbono, prejudica o raciocínio e a percepção, produz cefaleia, diminui os reflexos, reduz a destreza manual e dá sonolência. Em altas concentrações pode levar à morte. Indivíduos com doenças cardiovasculares ou respiratórias pré-existentes, crianças, idosos, e grávidas são considerados grupos de risco. (9)

Efeitos tóxicos graves podem ocorrer durante incêndios quando frequentemente são registrados casos severos de intoxicação por CO, incluindo lesões neurológicas que podem

deixar sequelas e causar mortes, uma das causas mais frequentes de mortes em incêndios florestais e os afetados são principalmente os brigadistas. (7)

Óxidos de enxofre e nitrogênio e impactos sobre a saúde

A maior fonte de SO_2 na atmosfera são os veículos e a queima de combustíveis fósseis por usinas de produção de energia elétrica e outros tipos de indústrias. As fontes menores são: processos industriais, que extrai metal do minério; fontes naturais, como vulcões; locomotivas; navios e outros veículos e equipamentos pesados que queimam combustível com um alto teor de enxofre. (10)

Quando o SO_2 é absorvido, atinge o sistema circulatório, é distribuído por todo o corpo, metabolizado e removido pelo sistema urinário. Quando a capacidade de absorção das vias aéreas superiores é ultrapassada por altas concentrações, pode ocorrer edema pulmonar e até a morte. (7)

Estudos feitos com animais mostraram que a inalação de dióxido de enxofre (SO_2) pode interferir na eliminação de bactérias e partículas inertes dos pulmões. O SO_2 também aumenta a produção de secreção e causa maior resistência das vias aéreas. (7)

A poluição por óxidos de enxofre está associada à mortalidade por doenças cardiopulmonares e câncer de pulmão. (11)

O NO , sob a ação de luz solar se transforma em NO_2 e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo das concentrações, o NO_2 pode causar prejuízos à saúde. (12)

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um gás poluente com ação altamente oxidante, sua presença na atmosfera é fator chave na formação do ozônio troposférico. (13)

Altas concentrações de NO_2 podem levar à irritação das vias aéreas, exposições por períodos curtos podem agravar doenças respiratórias, principalmente asma, levando a sintomas respiratórios (como tosse ou dificuldade para respirar), internações hospitalares e visitas aos serviços de pronto atendimento. Exposições mais longas a concentrações elevadas de NO_2 podem contribuir para o desenvolvimento de asma e aumentar a susceptibilidade às infecções respiratórias. (10)

Ozônio e impactos sobre a saúde

O ozônio, próximo da superfície da terra, é formado fotoquimicamente por reações de poluentes com a radiação solar. (5)

O ozônio pode fazer com que os músculos das vias aéreas se contraíam, prendendo o ar nos alvéolos. Isso leva à falta de ar, inflamação e danos nas vias aéreas, podendo agravar doenças como asma, bronquite crônica e enfisema, o pulmão fica mais suscetível a infecções, pode causar doença pulmonar obstrutiva crônica e pode levar à morte. (14)

1.2 – Queimadas

A combustão é um processo químico pelo qual um material reage rapidamente com o oxigênio do ar produzindo luz e calor intenso, no caso da biomassa, se faz em três estágios: ignição, combustão com chama e combustão sem chama. (15)

A queimada é uma combustão incompleta ao ar livre, depende do tipo de matéria vegetal que está sendo queimada, de sua densidade, umidade, além de condições ambientais e especialmente da velocidade do vento. Por ser uma combustão incompleta, as emissões resultantes constituem-se inicialmente em monóxido de carbono, material particulado e cinzas de granulometria variada. (7)

Resultam também dessa combustão compostos orgânicos simples e complexos representados pelos hidrocarbonetos (HC), entre outros compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, dioxinas e furanos, compostos de grande interesse em termos de saúde pública pelas características de alta toxicidade de vários deles (7). A queima de biomassa é a maior fonte de gases tóxicos e poluentes particulados, assim como gases de efeito estufa em todo o mundo. (5)

A emissão de gases e material particulado por queimadas florestais e de outros tipos de vegetação tem impacto na composição da atmosfera global, podem causar prejuízos econômicos e problemas à saúde humana, podendo levar até à morte de pessoas. (5)

Pesquisas realizadas por Radojevic & Hassan (1999) (16) em Brunei Darussalam, nas ilhas Bornéu, indicaram alguns dos efeitos que as queimadas de florestas desencadearam na região: drástica redução da visibilidade, fechamento de aeroportos e escolas, alto índice de acidentes de tráfego, destruição da biota pelo fogo, aumento na incidência de doenças, diminuição da produtividade, restrição das atividades de lazer e de trabalho, efeitos psicológicos e custos econômicos.

As queimadas ocorrem em praticamente todo o planeta, causadas principalmente por negligência e frequentemente associada com queimadas que fogem do controle vindas do manejo da terra. (5)

Também ocorrem em toda a extensão do território nacional, sendo utilizadas tanto em sistemas de produção primitivos ou convencionais, praticados por indígenas, caboclos e pequenos agricultores, quanto em sistemas com altos níveis de tecnologia. Em geral, as queimadas praticadas na agricultura e pecuária têm o objetivo de promover a adubação através dos depósitos de cinza, eliminar plantas invasoras de pastagens, limpar os campos para o plantio, provocar a rebrota das gramíneas renovando as pastagens, controlar a população de carrapatos nas pastagens, combater pragas em restos de culturas e facilitar o trabalho humano como, por exemplo, na colheita manual da cana-de-açúcar, entre outros objetivos. (17)

É uma forma barata e fácil de manejar terrenos, culturalmente arraigada aos hábitos da população, traz benefícios aos agricultores em curto prazo, porém afeta negativamente toda a biodiversidade e a dinâmica dos ecossistemas, aumentando também o processo de erosão do solo, empobrecendo-o e ainda deteriorando a qualidade do ar. (18)

Em florestas tropicais brasileiras, estão ligadas à maneira como a ocupação humana vem ocorrendo. Na região amazônica, a ocupação acontece a partir de pulsos migratórios que visam o garimpo e/ou a abertura de fronteiras agrícolas. (7)

A queima florestal e de origem agrícola afetam várias centenas de milhões de hectares de florestas e outras formas de vegetação no planeta. Em alguns ecossistemas como o Cerrado, o fogo tem um importante papel ecológico na manutenção dos ciclos biogeoquímicos. Em outros ecossistemas, o fogo leva à destruição das florestas ou à degradação a longo prazo dos ecossistemas. (5)

Em virtude de mudanças nos ecossistemas, há também um risco potencial de alteração na presença de vetores de doenças infecciosas e alterações nas atividades de fotossíntese de cultivos agrícolas que eventualmente podem desencadear efeitos na própria alimentação humana. (7)

Quanto maior a proximidade da queimada, geralmente é maior o seu efeito à saúde. Mas a direção e a intensidade das correntes de ar têm muita influência sobre a dispersão dos poluentes atmosféricos e sobre as áreas afetadas pela pluma oriunda do fogo. Se os ventos predominantes se dirigirem para áreas urbanas ou áreas densamente povoadas, um número maior de pessoas estará exposto aos efeitos dos contaminantes do ar. (7)

Esse é o caso de áreas mais ao sul de Mato Grosso, que durante as queimadas podem sofrer aumento de até 70% na concentração de monóxido de carbono em função do transporte da fumaça pelos ventos. Somado a isso, há a movimentação da Massa de Ar Equatorial Continental (MEC) que se origina na região amazônica e tem como características principais a elevada temperatura e umidade. Essa massa de ar influencia a atmosfera de toda a porção interiorana da América do Sul, pois se desloca por meio de correntes de noroeste, oeste e sudoeste a partir do seu centro de ação. (18)

Outro aspecto relevante a se ressaltar é que as queimadas não são homogêneas, assim como seus efeitos para a saúde. Diferentes tipos de biomassa apresentam emissões bastante variadas em termos de gases e de material particulado. Diferentes fases ou estágios das queimadas também apresentam estas variações. (19)

Apesar de todos os impactos causados pelas queimadas no planeta, elas podem ser previstas, controladas, manejadas e evitadas com a aplicação de ações apropriadas.

1.3 – Histórico do estado

O que hoje conhecemos como Mato Grosso já foi território espanhol. As primeiras incursões feitas no território de Mato Grosso datam de 1525, quando Pedro Aleixo Garcia foi em direção à Bolívia, seguindo as águas dos rios Paraná e Paraguai. Posteriormente portugueses e espanhóis foram atraídos para a região graças aos rumores de que havia muita riqueza naquelas terras ainda não exploradas devidamente, também vieram jesuítas espanhóis que construíram missões entre os rios Paraná e Paraguai. (20)

As Minas de Mato Grosso foram descobertas e batizadas ainda em 1734 pelos irmãos Paes de Barros, acostumados a andar pelos cerrados da Chapada dos Parecis, onde apenas havia algumas ilhas de arbustos agrestes. Os irmãos aventureiros, impressionados com a altura e porte das árvores, o emaranhado da vegetação secundária que dificultava a penetração, com a exuberância da floresta de 7 léguas de mato espesso, chamaram o lugar de Mato Grosso. Dois séculos depois, mantendo ainda a denominação original, se transformou no continental estado de Mato Grosso. (20)

Em 1718, um bandeirante chamado Pascoal Moreira Cabral Leme subiu pelo rio Coxipó e descobriu enormes jazidas de ouro, dando início à corrida do ouro, fato que ajudou a povoar a região. No ano seguinte foi fundado o Arraial de Cuiabá. Em 1726 o Arraial de Cuiabá recebeu

um novo nome: Vila Real do Senhor Bom Jesus de Cuiabá e em 1748, foi criada a capitania de Cuiabá, lugar que concedia isenções e privilégios a quem ali quisesse se instalar. (20)

As conquistas dos bandeirantes, na região do Mato Grosso, foram reconhecidas pelo Tratado de Madrid, em 1750. No ano seguinte, o então capitão-general do Mato Grosso, Antônio Rolim de Moura Tavares, fundou, na margem do rio Guaporé, a Vila Bela da Santíssima Trindade, a primeira capital. (20)

Entre 1761 e 1766, ocorreram disputas territoriais entre portugueses e espanhóis. Depois desse período, as missões espanholas e os espanhóis se retiraram da região, mas Mato Grosso somente passou a ser definitivamente território brasileiro depois que os conflitos por fronteira com os espanhóis deixaram de acontecer, em 1802. (20)

A partir do início do século XIX, a extração de ouro diminuiu bastante e a economia entrou em um período de decadência e a população daquele estado parou de crescer. Militares e civis deram início a um movimento separatista, em 1892, contra o governo do então presidente Mal. Floriano Peixoto. O movimento separatista foi sufocado por intervenção do governo federal. (20)

A economia do estado começou a melhorar com a implantação de estradas de ferro e telégrafos, à época em que começaram a chegar seringueiros, pessoas que cultivaram erva-mate e criadores de gado. (20)

Em 1977, Mato Grosso foi desmembrado em dois estados: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. (20)

O padrão de ocupação predominante nas décadas de 60 e 70, cujos atores eram motivados pela consolidação dos grandes eixos viários de integração, caracterizou-se pela abertura de pequenas propriedades. Nelas, a utilização de processos de produção rudimentares servia basicamente para o sustento familiar. Ao mesmo tempo, incentivos fiscais para alguns grandes projetos agropecuários também tiveram papel significativo e proporcionaram a abertura e formação de grandes unidades com pastagens extensivas. (17)

A partir da década de 60, a região começou a sofrer as pressões de intervenção do Estado Brasileiro, a fim de atender às demandas do mercado internacional relacionadas com a modernização da economia do Sul e Sudeste do país. Estas pressões geraram transformações importantes no padrão de exploração extrativista, uso do solo, organização espacial,

desigualdades sociais, impactos socioambientais repercutindo no desenvolvimento da rede urbana existente. (21)

1.4 – A Evolução da atividade agrícola no estado

A expansão recente da fronteira agropecuária na Amazônia não reproduz estruturas produtivas preexistentes, mas uma nova fronteira tecnológica na qual a inovação científica é o elemento central de explicação do novo perfil produtivo da atividade agrícola na região. (22)

Nesse sentido, a distribuição dos cultivos de grãos, como a soja, o milho e o arroz e também o algodão na Amazônia, tem sua dinâmica espacial associada, em grande parte, não somente à pesquisa científica, que possibilitou a adaptação de novas espécies vegetais às características do cerrado, mas também ao uso intensivo de máquinas, equipamentos e insumos, determinantes dos elevados índices de produtividade alcançados na região. (22)

Assim sendo, a distribuição espacial das principais lavouras temporárias e em especial, do cultivo da soja, revela a feição atual de uma dinâmica territorial que conjuga inovação tecnológica à expansão de cultivos modernizados predominantemente em áreas de Cerrado de baixa densidade demográfica. Tais áreas eram tradicionalmente ocupadas por uma pecuária extensiva ou se apresentavam encobertas por uma vegetação original de Cerrado ou ainda, em menor escala, de floresta, às quais se associavam características naturais limitantes de seu potencial produtivo. (22)

Partindo do município de Itiquira, a sudeste de Mato Grosso, a soja iria se expandir, nos anos 80, para a região de influência de Rondonópolis e mais adiante, para Cuiabá, alcançando, em meados dessa década, a porção central do estado. (22)

Em meados da década de 90, Campo Novo dos Parecis, Sorriso, Primavera do Leste e Lucas do Rio Verde assumiriam a liderança na produção estadual revelando o deslocamento da produção, cada vez maior, do centro-sul para o centro-norte do Estado em direção ao eixo da BR-163 (Cuiabá-Santarém). (22)

No curso dessa dinâmica, novos padrões de uso agrícola da terra vão se consolidando nas áreas de ocupação mais estabilizadas, como a região de Rondonópolis, onde se afirma o binômio soja-milho. (22)

Já no eixo central da BR-163 aparecem grandes áreas de expansão de soja até a altura dos municípios de Sorriso, que atualmente concentra mais de 10% da produção nacional, e Sinop, onde é desenvolvida a atividade agrícola em grande escala. Enquanto nas áreas de domínio florestal, a norte deste município, associa-se o domínio da rizicultura à sensível diminuição do volume de produção de soja, sendo a rizicultura ligada à incorporação de novas áreas à produção. A cultura do arroz está associada à abertura de pasto e mais recentemente, à implantação de novas culturas comerciais, como a soja, milho e, mais recentemente, o algodão. (22)

Já na região de Alta Floresta, no norte do estado, onde se encontra a área de transição entre o cerrado e a floresta, com a mudança da paisagem pelo aumento da declividade, presença de solo pedregoso e índices de pluviosidade mais elevados que na região de cerrado, a produção agrícola se reduz drasticamente. (22)

Para oeste, na região de influência da BR-364 (Cuiabá-Porto Velho), a lavoura da soja atingiu enorme expressão territorial e elevado nível de capitalização dentro de uma dinâmica que já chegou ao território de Rondônia a partir do Sudeste. (22)

A distribuição espacial das áreas desmatadas e dos focos de queimadas associados ao processo de expansão da fronteira agrícola refletem diretamente o crescimento de atividades como a extração de madeira e a abertura de pastagem que juntamente com a expansão do cultivo de grãos compõem um mosaico de usos diferenciados do espaço amazônico que vêm alterando, de forma radical, a dinâmica tradicional de ocupação da amazônia brasileira. (22)

1.5 – Marcos regulatórios

Em 15 de junho de 1989 foi publicada a Resolução CONAMA nº 05 de 1989, (23) instituindo o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, limitando os níveis de emissão por fontes de poluição atmosférica.

De acordo com as estratégias definidas na resolução CONAMA nº 05 de 1989, em 28 de junho de 1990 foi publicada a Resolução CONAMA nº 03 (24), a qual define padrões de qualidade do ar a serem seguidos:

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

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

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

I - Partículas Totais em Suspensão:

a) Padrão Primário:

- 1 - Concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar;
- 2 - Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário:

- 1 - Concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar;
- 2 - Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

II – Fumaça:

a) Padrão Primário:

- 1 - Concentração média aritmética anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar;
- 2 - Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

a) Padrão Secundário:

- 1 - Concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar;
- 2 - Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

III - Partículas Inaláveis:

a) Padrão Primário e Secundário:

- 1 - Concentração média aritmética anual de 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar;

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

V - Monóxido de Carbono:

a) Padrão Primário e Secundário:

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

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

Foram mostrados os padrões para Partículas Totais em Suspensão, Fumaça e Partículas Inaláveis por serem os componentes da poluição do ar mais próximos do material particulado aqui estudado.

Assim sendo, pode-se verificar que não há na normativa os padrões de qualidade do ar para PM 2,5 e CO para o período de 24 horas, que foram analisados neste estudo.

Em sua publicação de 2005, a Organização Mundial da Saúde (OMS) (25) define o padrão de qualidade do ar para o PM 2,5 em 24 horas de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, porém não define um limite para o monóxido de carbono.

No estado de Mato Grosso não existe uma normativa que defina os padrões de qualidade do ar até o presente momento.

1.6– Programas de combate às queimadas

A – Federal:

1) PPCDAM – O Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal foi lançado em 2004, elaborado pelo Grupo Permanente de Trabalho Interministerial (GPTI), com o objetivo de conter o aumento do desmatamento na Amazônia. (26)

2) A Estratégia Nacional para REDD+ (ENREDD+) é o documento que formaliza, perante a sociedade brasileira e os países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima como o governo federal tem estruturado esforços e como pretende aprimorá-los até 2020, com enfoque em ações coordenadas de prevenção e controle do

desmatamento e da degradação florestal, da promoção da recuperação florestal e do fomento ao desenvolvimento sustentável. (27)

Não foi encontrado um plano específico de combate às queimadas, mas esses, contemplam as queimadas, no combate ao desmatamento e nas políticas de redução das emissões dos gases do efeito estufa.

B – Estadual

1) PPCDMT - Plano de Ação de Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas no estado do Mato Grosso, tem como objetivos gerais:

- a) Eliminação do desmatamento ilegal e a forte redução nas emissões de CO₂ e outros GEEs (gases do efeito estufa) associados ao desmatamento e à queimada de vegetação nativa;
- b) Geração de emprego, renda e fortalecimento da equidade social, associados à conservação de florestas e à melhor utilização de áreas já desmatadas;
- c) Fortalecimento do sistema estadual de gestão florestal, com governança e transparência, em consonância com as diretrizes do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente);
- d) Aumento da competitividade de produtos do setor agropecuário e florestal de Mato Grosso, em mercados nacionais e internacionais;
- e) Envolvimento do estado em novos mecanismos de cooperação internacional no âmbito das convenções das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (UNFCCC) e conservação da biodiversidade (CDB), articulado com a política do governo brasileiro no âmbito das referidas convenções. (28)

2) Planos Integrados de Prevenção às Queimadas e Combate aos Incêndios Florestais - envolve ações de prevenção, fiscalização e combate às queimadas no estado, formado por representantes de diversos órgãos estaduais. (29)

1.7 –Programa VIGIAR

Em 2001, foi criado o Programa de Vigilância em Saúde Ambiental relacionado à Qualidade do Ar – VIGIAR, no âmbito da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde – SVS/MS, conforme recomendação constante no Projeto VIGISUS ao considerar a estruturação do Sistema Nacional de Vigilância em Saúde.

O Programa VIGIAR consiste no conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde visando à identificação dos fatores de risco, à promoção, à prevenção e à redução dos agravos à saúde das populações expostas à poluição atmosférica.

Tem como objetivo a promoção da saúde da população exposta aos fatores ambientais relacionados aos poluentes atmosféricos. Seu campo de atuação prioriza as regiões onde existam diferentes atividades de natureza econômica ou social que gerem poluição atmosférica, de modo a caracterizar um fator de risco para as populações expostas, denominadas Áreas de Atenção Ambiental Atmosférica de Interesse para a Saúde - 4AS.

O programa vem se consolidando como a primeira iniciativa do setor para estruturar um sistema de vigilância em saúde ambiental que considere as questões relacionadas à qualidade do ar, a partir de três pontos básicos: 1. Conhecer e mensurar os riscos ou perigos específicos no meio ambiente (indicador ambiental: concentração dos poluentes atmosféricos medidos segundo as normas e métodos de referência) e na saúde (indicadores de saúde: morbidade e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares); 2. Criar uma base de dados atualizada e contínua e 3. Gerar informação útil e representativa que permita seu uso para a tomada de decisão.

O Programa VIGIAR, respeitando os princípios e diretrizes do SUS e considerando seu campo de atuação, é desenvolvido de forma sistematizada e contínua, por meio de um conjunto de ações estratégicas e básicas, nas diversas esferas de governo, levando em consideração as peculiaridades locais. (30)

2- JUSTIFICATIVA

Já é bem conhecido que a poluição atmosférica é prejudicial à saúde da população exposta, porém na região amazônica, a poluição é sazonal e com altas concentrações, diferente da exposição à poluição urbana que é constante ao longo do ano e causada por veículos e indústrias principalmente, enquanto na região amazônica a poluição do ar tem origem principal nas queimadas no período seco do ano.

Até o presente momento ainda há poucos grupos de pesquisa estudando os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde da população que vive na Amazônia Legal, diferentemente do que ocorre em relação à poluição atmosférica produzida no ambiente urbano. Os estudos já realizados, de uma forma geral, não abrangem a totalidade da região. No estado de Mato Grosso

também não há muitos estudos desenvolvidos e principalmente abrangendo a sua área como um todo.

Assim sendo, é importante o conhecimento da origem das queimadas e seus efeitos na saúde da população da região para a elaboração de planos efetivos de combate à poluição atmosférica e proteção da saúde das pessoas.

3- OBJETIVO GERAL

Investigar a relação entre poluição atmosférica de queimadas e internações por problemas respiratórios em crianças menores de 5 anos e idosos maiores de 60 anos, e cardiovasculares em adultos entre 30 e 59 anos e idosos maiores de 60 anos, no estado de Mato Grosso.

4- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 – Verificar a associação entre queimadas e internações por problemas respiratórios e cardiovasculares;
- 2 – Verificar a associação entre internações por problemas respiratórios e cardiovasculares, e material particulado e monóxido de carbono, em quinze municípios monitorados de Mato Grosso;
- 3 – Investigar o padrão de defasagem entre a exposição e os desfechos anteriormente elencados;
- 4 – Verificar a presença de coincidência espacial significativa entre queimadas e internações.

5- MÉTODOS

5.1 – Delineamento do estudo

O presente estudo é um estudo epidemiológico ecológico, com duas análises de série temporal e uma análise espacial do tipo Moran.

5.2 – Área de estudo

A área de estudo deste projeto é o estado de Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste, com 903.198,091 km² de extensão, sua área urbana é de 519,7 km², com 141 municípios. O estado está localizado entre as coordenadas 06° 00' e 19° 45' sul e 50° 06' e 62° 45' oeste. (17) Está completamente inserido na região chamada de Amazônia Legal.

Amazônia Legal

A Amazônia Legal (figura 1) foi criada inicialmente como área de atuação da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), em 1953. Corresponde a 59% do território brasileiro e engloba a totalidade de oito estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) e parte do Estado do Maranhão (a oeste do meridiano de 44°W), perfazendo 5 milhões de km², onde reside 56% da população indígena brasileira. Seus limites territoriais decorrem da necessidade de planejar o desenvolvimento econômico da região e, por isso, não se resumem ao ecossistema de selva úmida, que ocupa 49% do território nacional e se estende também pelo território de oito países vizinhos. Os limites da Amazônia Legal foram alterados várias vezes em consequência de mudanças na divisão política do país, sua configuração atual equivale a área de atuação da SUDAM. (31) (32)

592.382 (65,7%); 132.238 (14,7%). Estas bacias estão separadas pelas áreas elevadas da Chapada dos Guimarães e da Chapada dos Parecis. (28)

Em relação ao clima, prevalecem o tropical super-úmido de monção, com elevada temperatura média anual, superior a 24° C e alta pluviosidade (2.000mm anuais); e o tropical, com chuvas de verão e inverno seco, caracterizado por médias de 23°C no planalto, também apresenta alta pluviosidade e excede a média anual de 1.500 mm. (34)

Já em relação à economia, a principal atividade desenvolvida historicamente em Mato Grosso é a agropecuária cultivada em grandes propriedades. Nas últimas três décadas, o estado vem apresentando um crescimento no setor considerado extraordinário, pela expansão da área cultivada, da produção e da produtividade. Este desempenho é resultado de uma sensível transformação na base técnica, antes apoiada em sistemas tradicionais, hoje alterada para sistemas de produção amparados na mecanização do sistema produtivo. Porém, esse crescimento econômico reflete uma forma de ocupação do solo que está fortemente vinculado ao desmatamento. (28)

Arco do Desmatamento

É a região (figura 2) onde a fronteira agrícola avança em direção à floresta e também onde encontram-se os maiores índices de desmatamento da Amazônia. São 500 mil km² de terras que vão do leste e sul do Pará em direção oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre. (35)

Fonte: IBAMA

Figura 2 – Mapa do Arco do Desmatamento

Em relação às queimadas, Mato Grosso é um dos estados que mais queimam no país. A tabela abaixo para o período de 2003 a 2016, mostra que o estado de Mato Grosso no período de 2003 a 2005 apresentava um patamar de focos de queimadas. Depois desse período de 2006 a 2010, os focos ficaram num patamar mais baixo, porém nos anos de 2007 e 2010, houve um aumento considerável nos focos de queimadas e o estado em todo o período está entre os que mais queimam no país, ficando em 1º lugar no ano passado. (tabela 1)

Tabela 1 – Focos de queimadas em MT

Ano	Nº de Focos	% Nacional	Posição Nacional
2003	49.612	21,1%	1º lugar
2004	77.015	28,5%	1º lugar
2005	51.649	21,5%	1º lugar
2006	27.266	19,9%	2º lugar
2007	50.418	21,8%	1º lugar
2008	20.031	16,3%	2º lugar
2009	13.093	10,6%	3º lugar
2010	46.956	18,8%	1º lugar
2011	15.976	12%	2º lugar
2012	26.034	13,4%	3º lugar
2013	17.772	15,4%	2º lugar
2014	28.056	15,3%	2º lugar
2015	33.050	14%	2º lugar
2016	29.587	15,7%	1º lugar

Fonte: INPE

5.3 – Definição de focos de queimadas do INPE

Em análises desenvolvidas neste projeto foram utilizados focos de queimadas para verificar o efeito da poluição atmosférica sobre a saúde da população de Mato Grosso, esses dados de focos de queimadas foram disponibilizados pelo INPE e abaixo será descrito como é definido um foco de queimada pelo INPE.

O satélite de referência AQUA detecta frentes de fogo com cerca de 30 m de extensão por 1 m de largura, ou maior.

Porém, a relação foco x queimada não é direta nas imagens de satélite. Um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (“pixel”), que varia de 1 km X 1 km até 5 km X 4 km. Neste “pixel” pode haver uma ou várias queimadas distintas, porém a indicação será de um único foco. E se uma queimada for muito extensa, ela será detectada em alguns “pixels” vizinhos, ou seja, vários focos estarão associados a uma única grande queimada.

É comum uma mesma queimada ser detectada por vários satélites. Portanto, os mapas e tabelas que apresentam todos os focos de todos os satélites sempre terão algumas repetições. Também pode acontecer em muitos casos, pela variação natural do tamanho dos “pixels” entre os vários satélites, que uma mesma queimada poderá ser indicada em locais com distância de alguns quilômetros, conforme o satélite que a detectou.

Entretanto, como o elemento de resolução espacial (“pixel”) do satélite tem 1 km X 1 km ou mais, uma queimada de algumas dezenas de metros quadrados será identificada como tendo pelo menos 1 km². Assim, um foco de queimada, que aqui é a mesma coisa que um “pixel” de queimada, pode indicar tanto uma pequena queimada assim como várias pequenas ou uma muito grande no seu interior.

Ou seja, este sistema do INPE detecta a existência de fogo na vegetação sem ter condições de avaliar o tamanho da área que está queimando ou o tipo de vegetação afetada. Em casos com muitos “pixels” de queimada juntos, e com a presença de uma nuvem de fumaça grande, pode-se concluir que a queimada terá a dimensão dos “pixels” de queimada detectados.

Este sistema de queimadas do INPE detecta a ocorrência de fogo, dado por si só extremamente importante e válido, além de necessário para milhares de usuários do sistema do INPE. Detalhes precisos do que está queimando e quanto queimou são informações impossíveis de se obter com os sensores atuais.

Assim sendo, considerando o modo regular de detecção e utilizando-se um único satélite como referência pode-se constatar tendências espaciais e temporais nas ocorrências de fogo.

A detecção das queimadas pode ser impedida ou prejudicada nas seguintes condições:

- Frentes de fogo com menos de 30 m;
- Fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores;
- Nuvens cobrindo a região, nuvens de fumaça não atrapalham;
- Queimada de pequena duração, ocorrendo entre as imagens disponíveis;
- Fogo em uma encosta de montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado;
- Imprecisão na localização do foco de queima, que pode ser de cerca de 1 km, mas que podem chegar a 6 km. (36)

Apesar dos problemas apresentados na detecção de focos de queimadas, esse é o mesmo sistema utilizado no resto do mundo, inclusive pela NASA, e por diversos pesquisadores pelo mundo. Além do mais, em uma região ampla e de difícil acesso como a região amazônica, somente dados de satélite dão conta de toda a sua extensão.

A seguir serão descritas as análises realizadas durante este estudo. Na análise 1 foram utilizados todos os satélites, porém na análise 3 foi utilizado somente o satélite AQUA, considerado o satélite de referência, cujo “pixel” mede 1km X 1km. O uso de seus dados é indicado pelo próprio INPE.

5.4 – Descrição da aquisição e análise dos dados

O objetivo inicial do projeto era verificar a associação entre material particulado e monóxido de carbono e internações por problemas cardiovasculares em maiores de 60 anos e adultos entre 30 e 59 anos e por problemas respiratórios em maiores de 60 anos e menores de 5 anos, em 15 municípios de Mato Grosso.

Para testar essa hipótese foram adquiridos dados do DATASUS de internações por problemas respiratórios e cardiovasculares para os quinze municípios propostos no projeto inicial.

Foram extraídos dados de Material Particulado PM 2,5; monóxido de carbono; umidade e temperatura do SISAM – INPE, conforme projeto.

Foi montado um banco de dados no programa SPSS, por dia, para análise de série temporal, comparando as internações com os dados atmosféricos e de poluição.

Após a confecção do banco de dados foram realizadas algumas análises descritivas e testes de correlação e foi constatado que as medidas dos poluentes atmosféricos não apresentavam variabilidade, não sendo confiáveis para o estudo. Segundo informações do INPE, esses dados deveriam ser validados. A partir deste momento, estes foram abandonados e outros bancos de dados foram montados para outras análises, conforme descrito a seguir:

5.4.1 - Análise 1

Para a análise de séries temporais em que o objetivo era verificar o efeito das queimadas sobre a saúde da população foram utilizados dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) de internações por problemas respiratórios (Classificação Internacional de Doenças, 10ª revisão – CID-10: J00-J99) de crianças menores de 5 anos de idade e idosos maiores de 60 anos e cardiovasculares (CID-10: I00-I99) de adultos entre 30 e 59 anos e idosos maiores de 60 anos. O período estudado foi de primeiro de janeiro de 2008 a 31 de agosto de 2014 e foram usados dados do estado todo.

Os dados de queimadas foram fornecidos através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Programa Queimadas.

Já os dados de temperatura e umidade, foram adquiridos através do Sistema de Informações Ambientais (SISAM) – INPE.

Como os dados de queimadas disponíveis eram semanais, foi montado um banco de dados com o total de internações semanal, médias semanais de temperatura e umidade e soma semanal de queimadas. Foram utilizados dados não estratificados e dados estratificados por sexo.

Foram feitas as análises descritivas de todas as variáveis: média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo e os quartis.

Posteriormente foram realizadas análises de regressão. As internações foram consideradas como variável dependente; queimadas, variável independente; temperatura e umidade, variáveis de confusão.

A variável dependente (uma variável de contagem) apresentou variância bem maior do que a média, o que não se enquadra na Regressão de Poisson (o tipo de regressão mais utilizado nesse tipo de análise), que tem como suposição que a média e a variância são iguais e por esse motivo o modelo considerado mais adequado foi a Regressão Binomial Negativa. O Modelo Aditivo Generalizado foi utilizado por ter sido considerado o mais ajustado.

A única variável que não apresentou relação linear com a variável dependente foi a variável Semana, por este motivo somente ela foi alisada para se controlar a tendência de longa duração e a sazonalidade, foi utilizado alisamento do tipo Spline, com 14 graus de liberdade.

Para verificar se a queimada tinha efeito com defasagem sobre as internações foi criada uma estrutura de defasagem de 1 a 4 semanas.

5.4.2 - Análise 2

Esta também é uma análise de série temporal para verificar o efeito do material particulado e do monóxido de carbono sobre o adoecimento da população.

Foram utilizados dados do Sistema único de Saúde (DATASUS) de internações por problemas respiratórios (Classificação Internacional de Doenças, 10ª Revisão – CID-10: J00-J99) de crianças menores de 5 anos de idade e idosos maiores de 60 anos e cardiovasculares (CID-10: I00-I99) de adultos entre 30 e 59 anos e idosos maiores de 60 anos. O período estudado foi de primeiro de janeiro de 2012 a 30 de junho de 2015 e foram usados dados de quinze municípios de Mato Grosso (Figura 3). Estes municípios foram escolhidos por serem monitorados diariamente em relação à concentração diária de material particulado e monóxido de carbono pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA). Os municípios escolhidos são Alta Floresta, Colíder, Juína, Juara, Sinop, Sorriso, Vila Rica, Cuiabá, Várzea Grande, Barra do Garças, Campo Novo dos Parecis, Cáceres, Tangará da Serra, Diamantino e Rondonópolis.

Fonte: Confeccionado pela autora

Figura 3 – Mapa do estado de Mato Grosso destacando os 15 municípios estudados

Os dados de material particulado, monóxido de carbono, temperatura média e umidade média foram adquiridos através da Unesp de Guaratinguetá, onde há acesso direto aos dados validados do INPE. Os dados diários de internações, variáveis ambientais e poluentes foram organizados em um banco de dados. Foram feitas as análises descritivas das variáveis: média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo e os quartis.

Posteriormente foram realizadas análises de regressão. As internações foram consideradas como variável dependente; material particulado e monóxido de carbono, variáveis independentes; temperatura e umidade, variáveis de confusão.

Nessa análise, em que a variável dependente também é uma contagem foram testadas regressões de Poisson e Binomial Negativa para verificar qual era mais ajustada, já que a média e a variância se apresentaram muito próximas. Foi escolhido o Modelo Aditivo Generalizado

para todas as regressões por ser mais flexível do que o Modelo Linear Generalizado, ambos comumente utilizados em pesquisas com poluentes.

Diferente do modelo descrito acima, nesse modelo nenhuma variável independente apresentou relação linear com a variável dependente, por este motivo todas foram alisadas para controlar a tendência de longa duração e a sazonalidade, o alisamento utilizado foi do tipo Spline, foram testados 21 e 28 graus de liberdade.

Para verificar se os poluentes apresentavam efeito com defasagem sobre as internações foi criada uma estrutura de defasagem com 1 a 7 dias.

No final, foi feito o exame do ajuste do modelo através da análise de resíduos, com o comando `gam.check` do programa R; gráfico da função de autocorrelação; além de verificar o valor do Critério de Informação de Akaike (AIC, sigla em inglês), para selecionar os modelos mais ajustados.

5.4.3 - Análise 3

Foram realizadas também análises de autocorrelação espacial (Análise de Moran), cuja unidade de análise foi o município. Foram utilizados dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS) de internações por problemas respiratórios (Classificação Internacional de Doenças, 10ª Revisão – CID-10: J00-J99) de menores de 5 anos de idade e maiores de 60 anos e cardiovasculares (CID-10: I00-I99) de adultos entre 30 e 59 anos e idosos maiores de 60 anos. O período analisado foi de primeiro de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2010. Os dados populacionais, para calcular as taxas de incidências, são dos Censos 2000 e 2010 do IBGE.

Os dados de queimadas foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Programa Queimadas.

Foram montados os seguintes bancos de dados com os valores totais, por município, para o período:

- Incidências de problemas respiratórios de maiores de 60 anos;
- Incidências de problemas respiratórios de menores de 05 anos;
- Incidências de problemas cardiovasculares para maiores de 60 anos;
- Incidências de problemas cardiovasculares para adultos entre 30 e 59 anos;

- Total de queimadas por área (km²).

Foram feitas análises univariadas do Moran local das incidências das interações dos grupos já descritos e dos focos de queimadas por área (km²). Foram produzidos mapas temáticos com os “clusters” univariados das incidências e das queimadas separadamente. Por último, foi feita a análise bivariada com as incidências e queimadas juntas e produzidos mapas temáticos com os “clusters” bivariados.

Uma vez que nos mapas produzidos, formaram-se “clusters” com formato de arco, provavelmente o Arco do Desmatamento, para investigar a continuidade desses “clusters” foram montados novos bancos de dados, a única diferença entre os anteriores, é o período que neste caso, foi de primeiro de janeiro de 2011 a 31 dezembro de 2016.

O Sistema de Referência de Coordenadas Geográficas utilizado foi o SIRGAS 2000.

5.5 – Descrição das metodologias estatísticas utilizadas

Regressão de Poisson

No Modelo de Regressão de Poisson, a variável resposta deve seguir uma distribuição de Poisson, ou seja, a média e a variância da variável resposta devem ser iguais (37):

$$Y_t \sim \text{Poisson}(\mu)$$

$$g[E(Y|X,T)] = g(\mu) = \eta = X\beta + \sum f_i(T_i)$$

Nesse modelo, Y representa o desfecho de saúde estudado, por se tratar de dados de contagem, um dos modelos de probabilidade mais usado é o de Poisson. O vetor X representa o poluente; T_i representa o tempo transcorrido do início da série até o dia corrente, variáveis meteorológicas e demais pontenciais covariáveis; g é a função de ligação. O interesse maior está em estimar β, o vetor que descreve a variação percentual no logaritmo da média do desfecho de saúde considerado para a variação em uma unidade na exposição. A curva suavizada, por meio dos f_i(T_i) permite descrever e, até mesmo, revelar possíveis não linearidades nas relações estudadas, uma vez que não apresenta a estrutura rígida de uma função paramétrica. (38)

Esse tipo de modelo se tornou padrão em estudos epidemiológicos em que se verifica a relação entre poluição atmosférica e saúde humana, tanto em áreas urbanas quanto por poluição atmosférica causada por queimadas.

Regressão binomial negativa

Normalmente em estudos de regressão cujo objetivo é estudar os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana, o modelo mais utilizado é de Poisson, cuja suposição é que a média e a variância da variável dependente são iguais. Porém em muitos estudos o mesmo não se verifica, pois a variância e a média não são iguais, fenômeno chamado de Superdispersão ou Sobredispersão.

Provavelmente este fenômeno ocorra devido à heterogeneidade das unidades amostrais causada por variabilidades entre elas, existência de correlação entre as unidades amostrais, não observação de variáveis explicativas de grande importância para a resposta, entre outras. Uma consequência importante de se ignorar a superdispersão é que os erros-padrão obtidos através do modelo de regressão de Poisson são incorretos e subestimam a variabilidade dos estimadores de seus parâmetros. (39) (40)

Neste caso há diversas análises alternativas e uma delas, utilizada neste estudo é a Regressão Binomial Negativa, útil para definir um modelo de regressão para contagens superdispersas. (40)

Modelos aditivos generalizados

O Modelo Aditivo Generalizado é uma extensão do Modelo Linear Generalizado em que é permitida uma relação não linear entre a variável resposta e as variáveis explicativas, além de substituir o termo linear da regressão por uma função não linear (alisamento). É chamado de modelo aditivo porque calcula uma função separadamente para cada variável explicativa e adiciona todas as suas contribuições ao modelo. (41)

Com essa substituição, não é necessário conhecer previamente a forma dessa relação, mas é possível estimá-la a partir de um conjunto de dados. (42)

E por fim, os modelos aditivos generalizados podem desempenhar duas funções nas análises:

- Podem fornecer uma estrutura flexível para controlar a dependência não linear de possíveis covariáveis;
- Permitem um teste direto em que se pode verificar se a relação com a poluição do ar mostra um limiar. (43)

Splines

Nos estudos em que o objetivo é estudar o efeito da poluição do ar sobre a saúde da população, normalmente ocorre variação sazonal ou uma tendência de longa duração da variável dependente. Como normalmente se tem como objetivo estudar a variação de curta duração (diária ou semanal) são utilizadas técnicas que diminuem a variação sazonal ou a tendência de longa duração, alisando ou suavizando esta variação, para isto é necessário o uso de um alisador.

Um alisador é uma função de x e y com o mesmo domínio de x , definida para todo ponto x_0 ou, algumas vezes, apenas para os x_i da amostra. Para cada valor x_i o alisador associa um valor $f(x_i)$ cuja estimativa $\hat{f}(x_i)$ pode ser obtida. Os valores desta função devem, por definição, ser mais “suaves” do que os valores de y , ou seja, devem ter menor variabilidade do que os valores de y . (42)

Neste caso, como o objetivo é modelar a sazonalidade e uma possível tendência, devemos definir um parâmetro que apreenda apenas o padrão sazonal e a tendência. É importante que o alisador não capture a variabilidade diária. (42)

Assim sendo, o alisador escolhido foi do tipo Spline, que não utiliza apenas um polinômio para todo o conjunto de dados, mas são definidos intervalos e estima-se uma função polinomial para cada um dos intervalos, ligados por nós. (37)

Os alisadores Splines têm as seguintes vantagens:

- Produz flexibilidade por aumentar o número de nós, sem aumentar o número de graus de liberdade utilizados e assim, produz estimativas mais estáveis;
- Ajustes não lineares podem potencialmente fazer previsões mais acuradas da variável resposta. (41)

Gráfico da função de autocorrelação

As tendências temporais podem provocar autocorrelação entre os dados, ou seja, os dados de um dia podem estar correlacionados com os dados do dia anterior. Assim, para verificar a existência de correlação entre os dados e decidir quais as providências a serem tomadas, são construídos gráficos da função de autocorrelação versus tempo de defasagem (lag). (44)

O gráfico da função de autocorrelação mostra a autocorrelação dos resíduos para k defasagens em que estes resíduos devem ser o menor possível, encontrando-se dentro de uma faixa, com intervalo de confiança de 95%. (45)

Análise de resíduo

O resíduo do modelo é a diferença entre o valor observado e o valor esperado e deve seguir as suposições de ter distribuição normal, ser independente e com variância constante (homocedasticidade). (45)

Uma forma de verificar o ajuste do modelo é analisando os gráficos de resíduo, neste projeto o diagnóstico foi realizado através dos seguintes gráficos:

- Gráfico Quantil-Quantil da Normal – compara os quantis dos resíduos com os quantis da Normal padrão (média igual a zero e variância igual a 1), serve para verificar a normalidade dos resíduos, deve ter uma relação linear com os quantis da Normal; (45)
- Histograma dos Resíduos – deve mostrar através da frequência dos resíduos, sua distribuição normal;
- Gráfico do Resíduo pelo Preditor Linear – deve mostrar valores se distribuírem de forma aleatória e homogênea, ou seja, com variância constante;
- Gráfico do Resíduo pelos Valores Ajustados – deve apresentar nuvem de pontos aleatória e homogênea, sem tendência, demonstrando a homocedasticidade dos resíduos. (46)

Análise de autocorrelação espacial

Em uma análise espacial é comum que unidades amostrais próximas, sejam parecidas entre si e apresentem autocorrelação, que é a relação entre duas variáveis aleatórias, medida em locais diferentes do espaço amostral. (47)

Um índice de autocorrelação espacial muito utilizado é o Índice Global de Moran. Quando este é calculado, é submetido a um teste cuja hipótese nula é de independência espacial, ou seja, seu valor é zero. Valores positivos (entre 0 e +1) indicam uma correlação direta e negativos (entre 0 e -1), correlação inversa. (48)

O índice Global de Moran fornece um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados, o que é útil na caracterização da região de estudo como um todo. Quando lidamos com grande número de áreas, é muito provável que ocorram diferentes regimes de associação espacial e que apareçam locais com forte autocorrelação espacial, onde a dependência espacial é ainda mais pronunciada. Assim, muitas vezes é desejável examinar padrões em maior detalhe. Para tanto, é preciso utilizar indicadores de associação espacial que possam ser ligados às diferentes localizações de uma variável distribuída espacialmente. Os indicadores locais produzem um valor específico para cada área, permitindo assim a identificação de agrupamentos (48). O Índice Local Bivariado de Moran é a versão bivariada do Índice Local de Moran, mostra a magnitude da associação entre duas variáveis ao longo da região de estudo. (49)

Neste estudo o Moran Local foi utilizado como LISA.

Segundo Anselin (1995) (50), o Índice Local de Associação Espacial (LISA) é qualquer estatística que satisfaça os seguintes requisitos:

- O índice de cada observação dá uma indicação da extensão do agrupamento espacial significativo de valores semelhantes ao redor da observação;
- A soma dos índices locais de todas as observações é proporcional ao índice global da associação espacial.

Matriz de vizinhança

Para estimar a distância entre unidades do espaço amostral, uma ferramenta comumente utilizada é a matriz de vizinhança. Dado um conjunto de n áreas $\{A_1, \dots, A_n\}$,

construímos a matriz de primeira ordem $W^{(1)}$ ($n \times n$), onde cada um dos elementos w_{ij} representa uma medida de proximidade entre A_i e A_j . Essa medida de proximidade pode ser calculada a partir de um dos seguintes critérios:

- $w_{ij} = 1$, se o centróide de A_i está a uma determinada distância de A_j ; caso contrário $w_{ij}=0$;
- $w_{ij} = 1$, se A_i compartilha um lado comum com A_j , caso contrário $w_{ij}=0$;
- $w_{ij} = l_{ij}/l_i$, onde l_{ij} é o comprimento da fronteira entre A_i e A_j e l_i é o perímetro de A_i .

É possível construir matrizes de vizinhança para vizinhos de maior ordem (vizinhos dos vizinhos). Com critério análogo ao adotado para a matriz de vizinhança de primeira ordem, pode-se construir as matrizes $W^{(2)}, \dots, W^{(n)}$. (48)

Em todas as análises foi adotado $p < 0,05$.

5.6 – Programas utilizados

Os programas utilizados nas análises descritas acima foram: SPSS 23; RStudio, versão 3.3.1; OpenGeoDa 1.6.7 (Anselin, 2012); QGIS, versão 2.14.3.

5.7 – Questões éticas

O presente projeto, apesar de usar somente dados secundários disponíveis para o uso público, foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, protocolo nº 078/13, na data de 13/03/2013 (anexo 1).

6- RESULTADOS

6.1- Análise 1

No presente estudo foi considerada estação seca, o período de abril a setembro e estação úmida, o período de outubro a março.

A temperatura média na estação seca foi 18,64° C, a média de umidade foi 65,51% e o número médio de queimadas foi 3916,44 focos por semana (tabela 2). No período úmido, a média de temperatura foi 21,33° C, umidade 78,91% e 1125,75 focos por semana (tabela 3). Houve um aumento de quase quatro vezes o número de focos de queimadas do período úmido para o período seco.

O número médio de internações no período seco de crianças menores de 5 anos foi 207,64 por semana e de idosos com mais de 60 anos, 121,34 internações por semana (tabela 2). No período úmido o número foi de 142,67 para crianças e 109,29, para idosos (tabela 3). Entre crianças houve um aumento de quase o dobro de internações do período úmido para o período seco.

Tabela 2 – Análise descritiva dos dados do período de seca

	Queim_sem	RESPMe5	RESPMa60	TempMed	UmiMed
Número Válido	179	179	179	179	179
Média	3916,44	207,64	121,34	18,64	65,51
Mediana	1757,00	193,00	119,00	18,38	74,33
Desvio Padrão	6322,17	102,25	45,94	6,94	22,75
Mínimo	37	14,00	10,00	,00	,00
Máximo	40472	549,00	275,00	30,58	93,93
Percentis 25	718,00	132,00	102,00	14,66	55,43
50	1757,00	193,00	119,00	18,38	74,33
75	3916,00	272,00	142,00	24,14	77,58

Queim_sem: Queima semanal

RespMe5: Doenças respiratórias em menores de 5 anos

RespMa60: Doenças respiratórias em maiores de 60 anos

TempMed: Temperatura média

UmiMed: Umidade média

Tabela 3 – Análise descritiva dos dados do período úmido

	Queim_sem	RESPMe5	RESPMa60	TempMed	UmiMed
Número Válido	174	174	174	174	174
Média	1125,75	142,67	109,29	21,33	78,91
Mediana	294,50	126,50	106,50	22,87	80,83
Desvio Padrão	2320,49	81,58	46,21	4,97	16,90
Mínimo	3	4,00	9,00	,00	,00
Máximo	17932	509,00	255,00	29,33	94,85
Percentis 25	116,50	88,75	82,75	20,11	76,49
50	294,50	126,50	106,50	22,87	80,83
75	1031,75	172,25	133,25	24,12	89,03

Queim_sem: Queima semanal

RespMe5: Doenças respiratórias em menores de 5 anos

RespMa60: Doenças respiratórias em maiores de 60 anos

TempMed: Temperatura média

UmiMed: Umidade média

Análise Gráfica

Analisando os gráficos do número de internações ao longo do período estudado (figuras 4 e 5), é perceptível que as internações por doenças respiratórias, de uma forma geral, apresentaram distribuição sazonal ao longo do tempo, com maior concentração do número de internações nos períodos secos. Pode-se concluir também, a partir dos gráficos, que há um maior efeito da sazonalidade nas internações de crianças do que de idosos, embora no ano de 2010, o ano com mais focos de queimadas do período (tabela 1), percebe-se um pico maior de internações entre maiores de 60 anos no período de seca desse ano.

Figura 4 – Número de internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos

Jan: janeiro

Figura 5 – Número de internações por problemas respiratórios em menores de 5 anos

Jan: janeiro

Observando agora os focos de queimadas, também é possível visualizar a variação sazonal, com maior número de focos nos períodos secos. (Figura 6)

Figura 6 – Número de focos semanais de queimadas

Jan: janeiro

Há um pico maior de queimadas no período seco de 2010 (figura 6) e é possível ver que há um pico maior de internações de idosos em 2010 também, conforme mostrado acima (figura 4).

Resultado dos modelos de regressão

Os modelos significantes para crianças foram: lag 0 (RR = 1,001; IC 95% = 1,00016 – 1,00279), lag 1 (RR = 1,001; IC 95% = 1,00005 – 1,00265) e lag 4 (RR = 1,002; IC 95% = 1,00079 – 1,00342). Foi encontrada associação significativa também para doenças respiratórias de idosos para o lag 0 (RR = 1,001; IC 95% = 1,00013 - 1,00256) (tabela 4). Todos os resultados de risco relativo ficaram próximos de 1, indicando que as internações aumentaram 1 unidade para cada 100 focos de queimadas em 1 semana no estado.

Tabela 4 – Resultado da regressão

Grupos Etários	Defasagem	RR (IC 95%)	<i>p</i>
Menores de 5 anos	Lag 0	1.001 (1.00016-1.00279)	0.031
	Lag 1	1.001 (1,00005-1.00265)	0.041
	Lag 2	1.01 (0.99975-1.00235)	0.111
	Lag 3	1.001 (0.99986-1.00249)	0.081
	Lag 4	1.002 (1.00079-1.00342)	0.00164
Maiores de 60 anos	Lag 0	1.001 (1.0001-1.0026)	0.0304
	Lag 1	1.001 (0.99954-1.00192)	0.225
	Lag 2	1.000 (0.99901-1.00139)	0.739
	Lag 3	1.000 (0.9987-1.0011)	0.875
	Lag 4	1.001 (0.9994-1.0018)	0.347

RR: Risco Relativo

Lag: Defasagem por semana

IC: Intervalo de confiança

p: Nível de significância

Temperatura e umidade não foram significativos em nenhum modelo, mas permaneceram, por serem variáveis de confusão. Não houve modelos significativos para doenças cardiovasculares ou estratificados por sexo, o modelo significativo é não estratificado.

6.2 - Análise 2

Para a segunda série temporal, a média da temperatura diária média é 25,87°, com desvio padrão de 2,36; da umidade média diária, a média é 71%, com desvio padrão de 17,84. A média diária de material particulado é 15,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com desvio padrão de 3,66; de monóxido de carbono, a média é 141,57 ppb, com desvio padrão de 49,96 (tabela 5).

A média diária de internações por problemas respiratórios para maiores de 60 anos é 7,11, com desvio padrão de 3,15; para menores de 5 anos é 8,96, com desvio padrão de 5,24. Para doenças cardiovasculares, a média diária para maiores de 60 anos é 11,27, com desvio padrão de 4,52; já para adultos entre 30 e 59 anos, é de 8,52, com desvio padrão de 3,84 (tabela 5).

Tabela 5 – Análise descritiva

		Resp_60	Resp_05	Card_60	Card 30_59	PM25	CO	Temp	Umid
Número	Válido	1277	1277	1277	1277	1275	1275	1275	1275
Número	Omisso	0	0	0	0	2	2	2	2
Média		7,11	8,96	11,27	8,52	15,14	141,57	25,87	71
Mediana		7,00	8,00	11,00	8,00	13,95	125,07	25,78	75,73
Desvio Padrão		3,15	5,24	4,52	3,84	3,66	49,96	2,36	17,84
Mínimo		0	0	0	0	11,35	64,10	15,31	21,22
Máximo		20	31	28	24	31,93	348,58	33,72	97,05
Percentis	25	5,00	5,00	8,00	6,00	12,56	109,40	24,41	60,59
	50	7,00	8,00	11,00	8,00	13,95	125,07	25,78	75,73
	75	9,00	12,00	14,00	11,00	16,12	157,69	27,11	84,61

Resp_60: Doenças respiratórias em maiores de 60 anos

Resp_05: Doenças respiratórias em menores de 605 anos

Card_60: Doenças cardiovasculares em maiores de 60 anos

Card 30_59: Doenças cardiovasculares entre 30 e 59 anos

PM25: Material particulado menor do que 2,5 μm

CO: Monóxido de carbono

Temp: Temperatura

Umid: Umidade

Análise gráfica

A concentração de material particulado ao longo do período do estudo está sendo demonstrado abaixo (figura 7). Nesse gráfico é possível ver, de forma muito clara, a variação sazonal da concentração de PM 2,5 ao longo do período. Também é possível perceber que as maiores concentrações desse poluente estão ocorrendo no período de seca, com maiores queimadas também (abril a setembro), enquanto as menores concentrações ocorrem consequentemente no período chuvoso (outubro a março).

Figura 7 – Concentração de material particulado ao longo do tempo

Jul: julho

Fev: fevereiro

Ago: agosto

Mar: março

Set: setembro

Abr: abril

No gráfico a seguir é apresentada a concentração de monóxido de carbono ao longo do período estudado. É possível constatar a distribuição sazonal do CO, são claramente visíveis as maiores concentrações do poluente ocorrendo no período de seca, consequentemente as menores concentrações ocorrem no período chuvoso (figura 8).

Figura 8 – Concentração de monóxido de carbono ao longo do tempo

Mai: maio

Set: setembro

Jan: janeiro

Jun: junho

Out: outubro

Fev: fevereiro

Jun: junho

Nov: novembro

Mar: março

O gráfico a seguir mostra a distribuição das internações de maiores de 60 anos por problemas respiratórios (figura 9). Neste gráfico é possível ver uma distribuição sazonal suave das internações, com mais internações ocorrendo no período seco.

Figura 9 – Internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos

Mai: maio

Set: setembro

Jan: janeiro

Jun: junho

Out: outubro

Fev: fevereiro

Jun: junho

Nov: novembro

Mar: março

No gráfico a seguir é apresentada a variação de internações por problemas respiratórios em crianças menores de 05 anos, neste gráfico é possível visualizar uma tendência sazonal mais intensa do que é visualizada nas internações entre os idosos, com maior concentração do número de internações no período seco e menor no período de chuva (figura 10).

Figura 10 – Internações por problemas respiratórios em menores de 5 anos

Mai: maio

Set: setembro

Jan: janeiro

Jun: junho

Out: outubro

Fev: fevereiro

Jun: junho

Nov: novembro

Mar: março

Os dois gráficos a seguir são de doenças cardiovasculares entre idosos e adultos, os dois gráficos são muito semelhantes e não apresentaram qualquer tendência sazonal ao longo do período estudado, apesar de terem apresentado uma associação positiva entre os agravos e o material particulado e o monóxido de carbono (figuras 11 e 12).

Em todos os gráficos foi inserida uma linha de tendência automática escolhida pelo programa R, neste caso, todas as linhas de tendência selecionadas foram do tipo GAM.

Figura 11 – Internações por problemas cardiovasculares em maiores de 60 anos

Mai: maio

Set: setembro

Jan: janeiro

Jun: junho

Out: outubro

Fev: fevereiro

Jun: junho

Nov: novembro

Mar: março

Figura 12 – Internações por problemas cardiovasculares entre 30 e 59 anos

Mai: maio

Set: setembro

Jan: janeiro

Jun: junho

Out: outubro

Fev: fevereiro

Jun: junho

Nov: novembro

Mar: março

Resultados da regressão

A seguir são apresentadas curvas de alisamento ajustadas em que são mostrados os efeitos dos poluentes material particulado e monóxido de carbono e também da temperatura e da umidade sobre as doenças respiratórias e cardiovasculares, com seus níveis de significância; além da análise de resíduo e gráficos da função de autocorrelação.

Posteriormente serão apresentadas curvas de alisamento ajustadas do efeito dos poluentes sobre os agravos comparando com o efeito defasado do poluente, com seus níveis de significância.

Doenças Respiratórias em maiores de 60 anos e Material Particulado

Abaixo estão os gráficos que mostram as curvas alisadas do efeito do material particulado, umidade e temperatura sobre as internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos (Figura 13).

Controlando o efeito da temperatura e da umidade, o gráfico do efeito do material particulado mostra que conforme a concentração de material particulado aumenta, as internações variam, sem apresentar uma tendência clara ascendente ou descendente. Deve-se levar em consideração valores de cerca de 5 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, onde estão concentradas a maioria das observações.

Controlando o efeito do material particulado e da temperatura, levando em consideração valores aproximados entre 30 e 96% da umidade, pode-se considerar que as internações apresentam uma suave tendência de queda, conforme aumenta a umidade relativa do ar, com alguma oscilação nos valores acima de 75%, neste modelo, a umidade foi significativa.

Controlando o efeito do material particulado e da umidade relativa do ar, levando em consideração valores aproximados entre 22° e 32° C, pode-se considerar que as internações apresentam uma suave tendência de queda, conforme aumenta a temperatura do ar, apresentando oscilações, porém mais suaves do que dos gráficos anteriores. Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 6).

Figura 13 – Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças respiratórias em maiores de 60 anos

Tabela 6 – Nível de significância das variáveis do modelo

Variável	Nível de Significância
Material particulado	0.000662
Umidade	0.015192
Temperatura	0.900014

Abaixo estão os gráficos da análise de ajuste (Figura 14) na seguinte ordem:

- 1) Gráfico Quantil – Quantil da Normal;
- 2) Resíduo pelo Preditor Linear;
- 3) Histograma dos Resíduos;
- 4) Resíduos pelos Valores Ajustados;
- 5) Gráfico da Função De Autocorrelação (Figura 15).

Diante da análise dos seguintes gráficos, verifica-se que os resíduos apresentam distribuição normal, homocedasticidade e não estão correlacionados ao longo do tempo.

Figura 14 – Análise de resíduos

Deviance residuals: Desvio do resíduo

Theoretical quantiles: quantis teóricos

Residuals: resíduos

Resids vs. Linear pred.: Resíduos versus Preditor linear

Histogram of residuals: histograma dos resíduos

Frequency: frequência

Response vs. Fitted Values: Resposta versus Valores ajustados

Figura 15 – Gráfico da função de autocorrelação

Doenças Respiratórias em maiores de 60 anos e Monóxido de Carbono

O primeiro gráfico mostra o efeito do monóxido de carbono sobre as internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos. Controlando o efeito da temperatura e da umidade e considerando valores aproximados entre 20 e 330 ppb, não é possível verificar uma tendência das internações, há uma suave oscilação no valor aproximado de 150 ppb e no valor aproximado de 250 ppb até o fim da curva, onde houve uma forte oscilação com posterior queda das internações.

O segundo gráfico mostra o efeito da umidade sobre as internações. Controlando o efeito do CO e da temperatura, são considerados valores aproximados entre 30 e 98% de umidade. Neste gráfico, é possível verificar uma tendência suave de queda das internações com o aumento da umidade, apresentando suave oscilação ao longo da curva. Essa regressão apresentou umidade significativa também.

No terceiro gráfico verifica-se que, considerando valores aproximados entre 22° e 31° C, pode-se visualizar que as internações apresentam uma suave tendência de queda, conforme aumenta a temperatura do ar, além de suave oscilação ao longo da curva (Figura 16). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 7).

Figura 16 – Curvas alisadas do efeito do monóxido de carbono, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças respiratórias em maiores de 60 anos

Tabela 7 – Nível de Significância das variáveis do modelo

Varável	Nível de Significância
Monóxido de carbono	0.039711
Umidade	0.000235
Temperatura	0.548532

Análise de ajuste

Conforme explicado anteriormente, os gráficos da análise de ajuste apresentam distribuição normal, homocedasticidade (Figura 17) e não estão correlacionados ao longo do tempo (Figura 18).

Figura 17 – Análise de Resíduos

Deviance residuals: Desvio do resíduo

Theoretical quantiles: quantis teóricos

Residuals: resíduos

Resids vs. Linear pred.: Resíduos versus Preditor linear

Histogram of residuals: histograma dos resíduos

Frequency: frequência

Response vs. Fitted Values: Resposta versus Valores ajustados

Figura 18 – Gráfico da Função de Autocorrelação

Doenças Respiratórias em Menores de 5 anos e Material Particulado

O primeiro gráfico mostra o efeito da concentração do material particulado sobre as internações, são considerados valores aproximados entre 5 e 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Neste gráfico, é possível verificar uma suave tendência de queda das internações com o aumento da concentração do material particulado, apresentando oscilações ao longo da curva.

O segundo gráfico mostra o efeito da umidade sobre as interações, são considerados valores aproximados entre 30 e 98% de umidade. Neste gráfico, é possível verificar uma tendência suave de aumento das interações com o aumento da umidade, apresentando suave oscilação ao longo da curva.

No terceiro gráfico verifica-se que considerando valores aproximados entre 22° e 31° C, pode-se visualizar que as interações apresentam uma suave tendência de aumento, conforme aumenta a temperatura do ar, além de suave oscilação ao longo da curva (Figura 19). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 8).

Figura 19 – Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da temperatura sobre interações por doenças respiratórias em menores de 5 anos

Tabela 8 – Nível de Significância das variáveis do modelo

Variável	Nível de Significância
Material particulado	0.000389
Umidade	0.076942
Temperatura	0.065120

Análise de ajuste

Os gráficos da análise de ajuste apresentam distribuição normal, homocedasticidade (Figura 20) e os dados não estão correlacionados ao longo do tempo (Figura 21).

Figura 20 – Análise de Resíduos

Deviance residuals: Desvio do resíduo

Theoretical quantiles: quantis teóricos

Residuals: resíduos

Resids vs. Linear pred.: Resíduos versus Preditor linear

Histogram of residuals: histograma dos resíduos

Frequency: frequência

Response vs. Fitted Values: Resposta versus Valores ajustados

Figura 21 – Gráfico da Função de Autocorrelação

Doenças Respiratórias em Menores de 5 anos e Monóxido de Carbono

O primeiro gráfico mostra o efeito do monóxido de carbono sobre as internações, levando em consideração valores aproximados entre 20 e 370 ppb. É possível verificar uma tendência de queda das internações, com forte oscilação ao longo da curva.

O segundo gráfico mostra o efeito da umidade sobre as internações, são considerados valores aproximados entre 30 e 98% de umidade. Neste gráfico, é possível verificar uma tendência suave de aumento das internações com o aumento da umidade, apresentando suave oscilação ao longo da curva.

No terceiro gráfico pode-se visualizar, considerando valores aproximados entre 22° e 31° C, que as internações apresentam tendência de aumento, conforme aumenta a temperatura do ar, além de suave oscilação ao longo da curva (Figura 22). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 9). Única regressão com temperatura significativa, entre as regressões sem defasagem.

Figura 22 – Curvas alisadas do efeito do monóxido de carbono, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos

Tabela 9 – Nível de Significância das variáveis do modelo

Variável	Nível de Significância
Monóxido de carbono	0.0154
Umidade	0.0549
Temperatura	0.0264

Análise de ajuste

Os gráficos da análise de resíduos apresentaram distribuição normal, homocedasticidade (Figura 23) e os dados não estão correlacionados ao longo do tempo (Figura 24).

Figura 23 – Análise de Resíduos

Deviance residuals: Desvio do resíduo

Theoretical quantiles: quantis teóricos

Residuals: resíduos

Resids vs. Linear pred.: Resíduos versus Preditor linear

Histogram of residuals: histograma dos resíduos

Frequency: frequência

Response vs. Fitted Values: Resposta versus Valores ajustados

Figura 24 – Gráfico da Função de Autocorrelação

Doenças Cardiovasculares em Maiores 60 anos e Material Particulado

O primeiro gráfico mostra o efeito da concentração do material particulado sobre as internações, são considerados valores aproximados entre 5 e 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Neste gráfico, é possível verificar uma tendência de queda das internações com o aumento da concentração do material particulado, apresentando oscilações ao longo da curva.

O segundo gráfico mostra o efeito da umidade sobre as internações, são considerados valores aproximados entre 30 e 98% de umidade. É possível verificar uma tendência suave de aumento das internações com o aumento da umidade, apresentando suave oscilação ao longo da curva.

No terceiro gráfico verifica-se que, considerando valores aproximados entre 22° e 31° C, pode-se visualizar que as internações apresentam tendência suave de aumento, conforme aumenta a temperatura do ar, além de suave oscilação ao longo da curva (Figura 25). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 10)

Figura 25 – Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças cardiovasculares em maiores de 60 anos

Tabela 10 – Nível de Significância das variáveis do modelo

Variável	Nível de Significância
Material particulado	0.0434
Umidade	0.0643
Temperatura	0.6263

Análise de ajuste

Os gráficos da análise de resíduos apresentam distribuição normal, homocedasticidade (Figura 26) e os dados não estão correlacionados ao longo do tempo (Figura 27).

Figura 26 – Análise de Resíduos

Deviance residuals: Desvio do resíduo

Theoretical quantiles: quantis teóricos

Residuals: resíduos

Resids vs. Linear pred.: Resíduos versus Preditor linear

Histogram of residuals: histograma dos resíduos

Frequency: frequência

Response vs. Fitted Values: Resposta versus Valores ajustados

Figura 27 – Gráfico da Função de Autocorrelação

Doenças Cardiovasculares entre 30 e 59 anos e Material Particulado

No primeiro gráfico é possível verificar uma tendência de queda das interações com o aumento da concentração do material particulado, apresentando oscilações ao longo da curva. Para a interpretação do gráfico são considerados valores aproximados entre 5 e 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

No segundo gráfico é possível visualizar uma tendência de estabilidade das interações com o aumento da umidade, apresentando suave oscilação ao longo da curva. Para a interpretação do gráfico, são considerados valores aproximados entre 30 e 98% de umidade.

No terceiro gráfico, considerando valores aproximados entre 22° e 32° C, pode-se ver que as interações apresentam oscilação ao longo da curva, não apresentando uma tendência clara (Figura 28). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 11)

Figura 28 – Curvas alisadas do efeito do material particulado, da umidade e da temperatura sobre internações por doenças cardiovasculares entre 30 e 59 anos

Tabela 11 – Nível de Significância das variáveis do modelo

Variável	Nível de Significância
Material particulado	0.024
Umidade	0.221
Temperatura	0.113

Análise de ajuste

Os gráficos da análise de resíduos apresentaram distribuição normal, homocedasticidade (Figura 29) e os dados não estão correlacionados ao longo do tempo (Figura 30).

Figura 29 – Análise de Resíduos

Deviance residuals: Desvio do resíduo

Theoretical quantiles: quantis teóricos

Residuals: resíduos

Resids vs. Linear pred.: Resíduos versus Preditor linear

Histogram of residuals: histograma dos resíduos

Frequency: frequência

Response vs. Fitted Values: Resposta versus Valores ajustados

Figura 30 – Gráfico da Função de Autocorrelação

EFEITO DAS DEFASAGENS

Abaixo estão os gráficos das regressões sem defasagem em comparação com as defasagens significativas, de acordo com os agravos, além do nível de significância de cada defasagem.

Doenças Respiratórias em maiores de 60 anos e Material Particulado

Para as internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos, comparando com a concentração de material particulado, são considerados para interpretação valores de cerca de 5 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Comparando os gráficos, verifica-se que há variação do efeito do material particulado sobre as internações, porém este efeito está oscilando entre os gráficos e não há uma tendência clara entre eles (Figura 31). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 12)

Figura 31 – Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 12 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 4	0.0394
Lag 5	0.0438
Lag 6	0.04660
Lag 7	0.03306

Doenças Respiratórias em menores de 5 anos e Material Particulado

Para as internações por problemas respiratórios em menores de 5 anos, comparando com a concentração de material particulado, são considerados valores de cerca de 5 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De acordo com os gráficos, constata-se que há variação do efeito do material particulado sobre as internações, porém este efeito está oscilando entre os gráficos e não há uma tendência clara entre eles (Figura 32). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 13)

Figura 32 – Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 13 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 1	0.0111
Lag 2	0.000453
Lag 4	0.00215
Lag 5	0.0173

Doenças Cardiovasculares em maiores de 60 anos e Material Particulado

Para as internações por problemas cardiovasculares em maiores de 60 anos, comparando com a concentração de material particulado, são considerados valores de cerca de 5 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De acordo com os gráficos, verifica-se que há variação do efeito do material particulado sobre as internações e este efeito está com suave tendência de queda, com oscilação presente entre os gráficos (Figura 33). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 14)

Figura 33 – Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 14 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 5	0.0204
Lag 7	0.0173

Doenças Cardiovasculares entre 30 e 59 anos e Material Particulado

Para as internações por problemas cardiovasculares em adultos entre 30 e 59 anos, comparando com a concentração de material particulado, são considerados valores de cerca de 5 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De acordo com os gráficos, é possível verificar em todos eles a predominância de falta de tendência das internações com o aumento da concentração do material particulado,

apresentando oscilações ao longo da curva, há variação do efeito do material particulado sobre as interações, se comparadas as diferentes defasagens (Figura 34). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 15)

Figura 34 – Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 15 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 3	0.0054
Lag 4	0.0311
Lag 6	0.00239
Lag 7	0.0166

Doenças Respiratórias em maiores de 60 anos e Monóxido de Carbono

Para as internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos, comparando com a concentração de monóxido de carbono, considerando valores aproximados entre 20 e 330 ppb, é possível verificar que não há uma tendência predominante nas curvas de internações (Figura 35). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 16)

Figura 35 – Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 16 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 2	0.0108
Lag 3	0.01448
Lag 4	0.0135
Lag 5	0.0307

Doenças Respiratórias em menores de 5 anos e Monóxido de Carbono

Para as internações por problemas respiratórios em menores de 5 anos, comparando com a concentração de monóxido de carbono, são considerados valores aproximados entre 20 e 330 ppb. Sem defasagem é possível verificar uma tendência de queda das internações, com forte oscilação ao longo da curva. Com 1 dia de defasagem o comportamento da curva já é outro: a curva sofre aumento até a concentração de 100 ppb, oscila com tendência de queda até a concentração de 300 ppb e sobe até os 330 ppb. Com 2, 3, 5 e 6 dias de defasagem, as curvas oscilam bastante, não sendo possível a verificação de uma tendência. Com 4 dias de defasagem, a curva apresenta uma suave tendência ascendente até a concentração de 250 ppb, com posterior tendência de queda e forte oscilação (Figura 36). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 17)

Figura 36 – Comparação entre as curvas alisadas sem defasagem e com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 17 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 1	0.0436
Lag 2	0.0424
Lag 3	0.0109
Lag 4	0.00062
Lag 5	0.000814
Lag 6	0.00319

Doenças Cardiovasculares em maiores de 60 anos e Monóxido de Carbono

Para as interações por problemas cardiovasculares em maiores de 60 anos, comparando com a concentração de monóxido de carbono, são considerados valores aproximados entre 20 e 330 ppb.

Apesar de não ter sido verificada associação significativa entre doenças cardiovasculares e monóxido de carbono sem defasagem, com a defasagem foi verificada esta associação.

Porém, não é possível verificar uma tendência definida em nenhuma curva de defasagem, mas é visível uma suave oscilação em todas elas (Figura 37). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 18)

Figura 37 – Comparação entre as curvas alisadas com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 18 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 1	0.00561
Lag 2	0.00072
Lag 4	0.00328
Lag 5	0.0188
Lag 6	0.00514

Doenças Cardiovasculares entre 30 e 59 anos e Monóxido de Carbono

Para as internações por problemas cardiovasculares em adultos entre 30 e 59 anos, comparando com a concentração de monóxido de carbono, são considerados valores aproximados entre 20 e 330 ppb.

Apesar de não ter sido verificada associação significativa entre doenças cardiovasculares e monóxido de carbono sem defasagem, com a defasagem foi encontrada associação.

Porém, não é possível verificar uma tendência definida em nenhuma curva de defasagem, mas sim uma suave oscilação em todas elas (Figura 38). Por último, o nível de significância das variáveis (tabela 19)

Figura 38 – Comparação entre as curvas alisadas com defasagem

Lag: dias de defasagem

Tabela 19 – Nível de Significância das diferentes defasagens

Variável	Nível de Significância
Lag 1	0.00135
Lag 2	0.03756
Lag 4	0.00238
Lag 6	0.00175
Lag 7	0.00107

6.3 - Análise 3

Para a Análise de Autocorrelação Espacial de Moran foi utilizado o período de 2003 a 2010. Os mapas englobam os dados do período todo e a unidade espacial foi o município. Os mapas foram separados de acordo com os agravos. Foi feita a análise univariada da incidência de internações com os agravos e grupos etários já utilizados e também a univariada para os focos de queimadas por área (km²) e por último, a análise bivariada com as incidências e as queimadas.

Figura 39 – Aglomerados formados na análise de Moran

Figura 40 – Aglomerados formados na análise de Moran

Figura 41 – Aglomerados formados na análise de Moran

Figura 42 – Aglomerados formados na análise de Moran

De acordo com os mapas temáticos univariados das internações, de uma forma geral, as áreas de maior risco tenderam a se concentrar no noroeste do estado, com exceção da incidência por problemas respiratórios em menores de 4 anos, que se concentrou no Leste. As queimadas, para todos os agravos, formaram um aglomerado com forma de arco no Norte do estado. Como Mato Grosso faz parte do arco do desmatamento, área de avanço do desmatamento na região amazônica, acredita-se que o arco do desmatamento está explicitado em todos os mapas temáticos de queimadas.

Quando se analisa o mapa temático bivariado das internações em relação às queimadas dos vizinhos, também se verifica que há uma tendência à formação do arco, indicando que há um aglomerado de municípios com alta incidência de internações, enquanto os vizinhos possuem alta quantidade de focos de queimadas por área (alto-alto).

Acredita-se, porém, que atualmente o arco do desmatamento não está mais sobre o estado de Mato Grosso, e sim mais ao norte na região amazônica. Para verificar se esta

afirmação é correta, foram confeccionados novos bancos de dados, com informações de 2011 até 2016.

Figura 43 – Aglomerados formados na análise de Moran

Figura 44 – Aglomerados formados na análise de Moran

Figura 45 – Aglomerados formados na análise de Moran

Figura 46 – Aglomerados formados na análise de Moran

O resultado, para o período de 2011 a 2016, mostra que a incidência quando analisada sozinha tende a ter formação de aglomerados na região Noroeste do estado, como no período anterior. As queimadas analisadas sozinhas, porém, tiveram a formação de “clusters” concentrados na região Nordeste do estado, não apresentando mais a forma de arco. Os aglomerados bivariados tenderam a se concentrar na região Nordeste, assim como os aglomerados das queimadas.

7- DISCUSSÃO

7.1 - Análise 1

A região amazônica, a maior área de floresta tropical do mundo, com aproximadamente um quarto de toda a floresta tropical existente no planeta, está entre as regiões com as maiores taxas de desmatamento do mundo. (51)

Em Mato Grosso, a queima de florestas e de cultivos agrícolas é a maior fonte de poluição do ar e essas emissões têm sido responsáveis por causar doenças em pessoas de diferentes idades. (52) (53)

Estas emissões de partículas finas decorrentes das queimadas representam cerca de 60% do material particulado emitido para a atmosfera na região amazônica. (52)

No Brasil as doenças respiratórias são responsáveis por aproximadamente 16% de todas as internações. Porém, em grupos mais vulneráveis como as crianças e idosos, as doenças respiratórias compreendem mais de 50% das internações hospitalares. (54)

Durante o estudo foi verificado que tanto as crianças como os idosos foram influenciados pela queima de biomassa sem defasagem. O efeito da defasagem observado em internações de crianças e não observado em idosos pode ser explicado pela possível diferença na resiliência do aparato respiratório entre os dois grupos estudados. Quando expostas ao aumento da concentração do poluente atmosférico, crianças podem apresentar sintomas clínicos de doenças respiratórias levando a um aumento da demanda por atendimento primário do serviço de saúde, enquanto nos idosos os efeitos da exposição se tornam imediatamente aparentes, resultando em internações no mesmo dia, de acordo com a variação do nível de exposição. Além disso idosos também podem apresentar outras comorbidades associadas que podem influenciar neste quadro. (55)

Já os efeitos defasados das queimadas sobre as internações de crianças podem ser explicados pela grande extensão do estado, terceiro maior do país, com áreas de difícil acesso, com áreas úmidas, como o Pantanal. Em muitas regiões, a população gasta muito tempo para acessar o serviço de saúde, que muitas vezes pode não estar próximo, ou no mesmo município, sendo possível levar dias até o serviço de saúde mais próximo.

Nascimento e colaboradores (2012) (56), encontraram cidades com alta taxa de internações, porém estas não estavam na área com maior número de queimadas, e sim distante

vários quilômetros, sugerindo que a fumaça pode ser transportada pela corrente de ventos, causando problemas de saúde em populações distantes do evento, o que também poderia explicar o efeito defasado de 1 e 4 semanas das queimadas.

Botelho e colaboradores (2003) (57) verificaram uma probabilidade 7,3% maior de internação hospitalar no período de seca, se comparado ao das chuvas ao analisar atendimentos de urgência por doenças respiratórias em Cuiabá. No presente estudo, ocorreu um aumento maior do período de chuva para o período de seca. Houve um aumento de 145,53% nas internações por problemas respiratórios em menores de cinco anos do período chuvoso para o período de seca e houve um aumento de 111,03% nas internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos do período úmido para o período de seca. Reforçando que a sazonalidade está presente também nas internações (figuras 4 e 5) e a influência das queimadas sobre as internações, já que não foi encontrada associação das internações com temperatura e umidade nesta análise.

Apesar dos baixos valores do Risco Relativo nas internações por doenças respiratórias, esse valor está relacionado ao efeito de cem focos de queimada no estado em 1 semana e o impacto da fumaça é substancial quando considerada a população total exposta.

No presente estudo, foi verificada a associação entre internações por doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos e adultos maiores de 60 anos e queima de biomassa de acordo com a literatura. Mukherjee e colaboradores (2014) (58) mostraram que a fumaça produzida pela queima de biomassa leva a sintomas respiratórios e diminui a função pulmonar em mulheres indianas expostas à fumaça da queima de lenha dentro de casa. Silva e colaboradores (2013) (59) verificaram que a exposição ao PM_{2,5} originado da queima de biomassa é associado ao aumento das internações hospitalares por problemas respiratórios em crianças com menos de 5 anos em Cuiabá. Oliveira e colaboradores (2012) (60) concluíram que crianças menores do que 8 anos de idade apresentam vulnerabilidade a altos níveis de PM_{2,5} na região amazônica.

As queimadas foram usadas como uma medida indireta de poluição do ar, corroborando a associação com internações, assim como nos estudos citados acima, onde os autores usaram o material particulado, uma medida direta de exposição, mostrando o efeito da poluição do ar na saúde. Assim sendo, queimadas podem ser indicadores apropriados para examinar os efeitos da poluição do ar.

7.2 - Análise 2

A composição e a estrutura da atmosfera amazônica estão sofrendo mudanças significativas devido a alterações no uso do solo em algumas áreas da Amazônia. Essas mudanças ocorrem desde a escala local até milhares de quilômetros longe das regiões de emissões. O conjunto dessas fortes alterações em processos atmosféricos críticos para a saúde do ecossistema indicam que mudanças de uso do solo não se resumem à troca de floresta por áreas de pastagem e cultivo, mas apontam para mudanças ambientais mais profundas com efeitos no ecossistema amazônico e possivelmente no clima de outras regiões do Brasil. (61)

Diferentemente do que é observado em ambientes urbanos, em que a poluição atmosférica é caracterizada por uma exposição crônica, no caso das queimadas na Amazônia brasileira há uma exposição de elevada magnitude por um período médio anual de 3 a 5 meses, associada a baixos índices pluviométricos, em que o material particulado apresenta níveis muito mais altos do que no período de chuvas. (52)

Artaxo e colaboradores (2002) (62) encontraram concentrações de poluentes muito altas na região amazônica, como do monóxido de carbono (CO) em Rondônia que durante a estação chuvosa teve média de 150 ppb, e na estação de queimadas alcançou 8.000 ppb. Assim como as concentrações de aerossóis na Amazônia durante a estação seca, que correspondem a valores tipicamente observados no centro da cidade de São Paulo durante os episódios críticos de poluição de ar urbana no período de inverno e abrangem uma área geográfica muito extensa na Amazônia. (61)

Apesar do estado de Mato Grosso estar entre os estados com mais focos de queimadas no país e os poluentes se originarem em sua maioria das queimadas, a média do monóxido de carbono nesta análise foi de 141,57ppb, com desvio padrão de 49,96 e o valor máximo foi de 348,58ppb, muito abaixo do que foi encontrado acima, no estado de Rondônia.

Em Rondônia, também foram encontrados valores de PM 2,5 que atingiram 50-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no período das queimadas (63). No presente estudo foi encontrada média do PM 2,5 de 15,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com 3,66 de desvio padrão, alcançando o valor máximo de 31,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Apesar desses valores parecerem muito baixos, em relação ao material particulado, o valor máximo ultrapassa o padrão estabelecido pela OMS de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 2,5 em 24 horas (25). Para o monóxido de carbono não há um valor padrão estabelecido pela OMS, somente a Resolução CONAMA nº 03/90 estabelece um padrão de qualidade do ar para o CO, porém o

valor estabelecido é para 1 hora e 8 horas, não comparável com o monóxido utilizado na pesquisa, que é o valor médio de 24 horas.

Na Resolução CONAMA não há padrões definidos para o PM 2,5, somente para partículas inaláveis (PM 10), logo para o material particulado fino, o único padrão para o estado de Mato Grosso é o valor estabelecido pela OMS e para CO, com medida de 24 horas, não há valor estabelecido padrão até o presente momento.

Lembrando que o PM 2,5 é formado por partículas finas, permanece um tempo maior na atmosfera do que as partículas grossas e podem ser transportadas por grandes distâncias, o que aumenta a sua capacidade de dispersão e, conseqüentemente, o seu impacto sobre os indivíduos. Elas se depositam nos brônquios terminais e nos alvéolos, agravando problemas respiratórios e podendo causar mortes prematuras (52), o que torna ainda mais necessária uma definição de um valor padrão para o PM 2,5.

Apesar da média diária do material particulado estar abaixo do valor estabelecido pela OMS, a população atingida pela fumaça das queimadas está sendo impactada por este material particulado, já que é comprovado em estudos, como no descrito a seguir, que mesmo concentrações de poluentes abaixo dos padrões de qualidade do ar causam agravos à população.

Makar e colaboradores (2017) (64) encontraram evidências fortes de que o aumento da exposição a longo prazo de PM 2,5 de níveis abaixo de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para níveis acima de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ levou a um aumento de 15% na taxa de hospitalização. Mostrando que mesmo concentrações muito baixas de PM 2,5 podem causar danos à saúde.

Na presente pesquisa foi verificada associação entre doenças respiratórias em maiores de 60 anos e menores de 5 anos e material particulado sem defasagem e com defasagem em dias variados, o que também foi encontrado na literatura:

Carmo e colaboradores (2010) (52) constataram que a exposição ao material particulado fino originado da fumaça das queimadas está associada ao aumento da demanda por atendimento ambulatorial por doenças respiratórias em crianças residentes no município de Alta Floresta, região do arco do desmatamento na Amazônia brasileira.

Yanagi e colaboradores (2012) (8) mostram que o PM 10 da poluição do ar da cidade de São Paulo foi associada com forte correlação à incidência de câncer de tireoide, pele, pulmão,

bexiga e laringe, além disso a mortalidade por câncer de pulmão mostrou o mais alto número de correlações durante o período.

Pope e colaboradores (1992) (65) consideraram estruturas de defasagem mais longas, com até sete dias e encontraram as associações mais fortes com a média móvel de cinco dias para PM 10. Estes dados sugerem que os efeitos do material particulado na mortalidade por problemas respiratórios podem apresentar efeitos defasados em vários dias.

Em relação às doenças cardiorrespiratórias, os idosos e os pacientes com antecedentes dessas doenças são mais vulneráveis aos efeitos da queima de biomassa. A poluição causada pela queima também é um importante fator de risco para indivíduos mais suscetíveis a doenças circulatórias. (66)

A exposição ao PM 2,5 é um fator de risco importante para a mortalidade por doenças cardiovasculares, provavelmente devido à acelerada aterosclerose e mudança na função autônoma do coração, que causa vasoconstrição. Doenças cardiovasculares como isquemia e infarto do miocárdio são mais prováveis de ocorrer quando um indivíduo é exposto ao PM2,5. (66)

Também foi encontrada associação entre doenças cardiovasculares em adultos entre 30 e 59 anos e maiores de 60 anos, com efeito defasado para dias variados. Não foi encontrada associação das regressões sem defasagem para monóxido de carbono e doenças cardiovasculares tanto em adultos como em idosos, esses achados foram corroborados por outros estudos:

Peters e colaboradores (2000) (67) observaram aumento do risco de arritmia cardíaca em associação com elevadas concentrações de poluentes atmosféricos, também encontraram efeito defasado entre a exposição à poluição e o efeito na saúde.

O único estudo que encontrou associação entre doenças cardiovasculares e poluição atmosférica na Amazônia foi de Nunes e colaboradores (2013) (66), os resultados mostraram associação entre taxas de mortalidade por doenças circulatórias entre idosos e exposição ao PM 2,5 nos estados da Amazônia Legal.

Não foram encontrados estudos que investigaram os efeitos do monóxido de carbono na saúde da população na região amazônica, logo foram feitas comparações com trabalhos de outras regiões do mundo em relação ao Monóxido de Carbono, como Quinn e colaboradores (2016) (68) que encontraram associação entre exposição ao monóxido de carbono, vindo de

fogão à lenha e aumento da pressão sanguínea em mulheres grávidas, na zona rural de Gana. Tramuto e colaboradores (2011) (69) encontraram em Palermo associação positiva entre hospitalizações por problemas respiratórios e Monóxido de Carbono da poluição veicular.

Conceição e colaboradores (2001) (70) estudaram o efeito de poluentes, como o CO, na cidade de SP na mortalidade de crianças menores de 5 anos com defasagem de dois dias e concluíram que há uma significativa associação entre mortalidade e concentrações de poluentes, sendo que 13% das mortes foram atribuídas ao CO.

Tuan e colaboradores (2016) (71) encontraram associações positivas entre infarto agudo do miocárdio e poluentes atmosféricos, como o monóxido de carbono para mulheres, sem defasagem e com defasagem de 1 e 5 dias, para homens com defasagem de 3 e 5 dias e sem definição de gênero, com 1 e 5 dias, para maiores de 50 anos em São José dos Campos.

As grandes dimensões do estado podem explicar um maior efeito de defasagem, também encontrado por Carmo e colaboradores em Alta Floresta em doenças respiratórias de crianças menores de 5 anos, com efeitos de defasagem de 6 a 7 dias. (52)

Em relação à umidade, no presente estudo, esta foi significativa somente para internações por problemas respiratórios em maiores de 60 anos, já a temperatura foi significativa somente para internações por problemas respiratórios em menores de cinco anos, ambos modelos com monóxido de carbono. Conforme as curvas ajustadas e conforme a umidade diminui, as internações aumentam e para temperatura ocorre o contrário, nas maiores temperaturas, aumentam as internações.

Porém, foram utilizados dados de temperatura e umidade médias diárias, ou seja, estes dados não variam tanto, com as temperaturas e umidades mínimas e máximas, provavelmente, os efeitos fiquem mais claros. O efeito da umidade foi verificado nos seguintes estudos na região amazônica:

Andrade Filho e colaboradores (2013) (63) verificaram o comportamento sazonal claramente associado à umidade relativa do ar nas séries temporais das internações hospitalares de crianças menores de 9 anos em Manaus e concluíram que é possível que as características ambientais relacionadas ao período chuvoso da região sejam importantes para o aumento das taxas de internações de crianças por doenças respiratórias.

E Smith e colaboradores (2014) (72) concluíram que apesar da ampla tendência das doenças respiratórias se concentrarem no final do período de chuvas na Amazônia Legal, as

condições de seca aumentam a incidência de doenças respiratórias em crianças durante a estação seca.

A partir dos gráficos de material particulado e monóxido de carbono (figuras 7 e 8), percebe-se o comportamento sazonal da concentração dos poluentes, assim sendo sugere-se que a sua principal fonte é realmente a queimada.

As regressões desta análise foram significativas e ajustadas, conforme se verifica na figura (17), por exemplo. A associação entre poluentes e agravos foi verificada, inclusive com defasagens, porém não foi capaz de medir o efeito dos poluentes sobre os agravos conforme as figuras (19 e 22).

7.3 - Análise 3

Na Amazônia, as florestas que queimam com mais frequência estão concentradas em locais que apresentam períodos de secas pronunciadas, onde há exploração madeireira e pecuária e ocorre uma taxa significativa de perda da floresta. Tais locais encontram-se principalmente no Leste e no Sul da Amazônia Legal, em especial no Arco do Desmatamento. (73) (74)

A expansão da área plantada tem gerado impactos socioambientais que envolvem, desde queimadas nas áreas da Floresta Amazônica para expansão da área até mudanças no uso da terra e concentração latifundiária, entre outros impactos. (75)

Além dos impactos sobre a floresta, o desenvolvimento da fronteira agrícola atinge também os ecossistemas do Cerrado, cuja exploração é anterior à da região da floresta, o Cerrado é um bioma importante por possuir a mais rica flora dentre as savanas do mundo (76) e também para o abastecimento de água de boa parte da população brasileira, já que nascentes de importantes bacias, como a amazônica e a platina, nascem nesse bioma. As taxas de desmatamento no Cerrado têm sido historicamente superiores às da floresta amazônica (76). O Cerrado necessita do fogo para existir, porém atualmente o fogo tem sido frequentemente de origem humana, mais agressivo do que o de origem natural e com uma frequência maior do que os ecossistemas conseguem se recuperar, levando a uma progressiva perda desse importante bioma.

O uso do fogo na Amazônia Legal está associado à fase da ocupação na qual o processo de implantação e estabelecimento da pecuária se beneficia das queimadas como instrumento

facilitador e redutor dos custos da abertura e redução da vegetação remanescente. Assim sendo, após a retirada da madeira de lei (que tem valor econômico) ocorre a queima da madeira remanescente, pois o valor comercial desta torna-se baixo demais, em função da oferta das áreas abertas e, portanto, sua queima é a prática mais comum para a sua eliminação e consequentemente substituição da cobertura florestal natural pela agricultura e pecuária. (17)

O fato do fogo ser amplamente utilizado como ferramenta do processo de retirada da vegetação florestal natural, por ser um instrumento de baixo custo para o especulador, o colono ou o agricultor, faz com que a sua ocorrência esteja, possivelmente, relacionada à expansão da fronteira agrícola. O fogo está associado a várias atividades, tanto da “fronteira especulativa” em que a abertura de novas áreas se dá para a venda imediata das terras quanto da “fronteira consolidada” em que os proprietários estão estabelecidos na terra. (77)

O desmatamento na Amazônia está relacionado com o fogo, que emite partículas para a atmosfera, reduz a qualidade do ar e pode afetar a saúde humana (78)

Reddington e colaboradores (2015) (79) mostraram que a redução das emissões de queimadas no Brasil relacionadas com o desmatamento evitou 400 a 1700 mortes prematuras de adultos anualmente, concluindo que os incêndios de desmatamento dominam os impactos regionais ligados à qualidade do ar.

Logo, observando os aglomerados formados na Análise de Autocorrelação Espacial, percebe-se que no período de 2003 a 2010, os aglomerados de queimadas e bivariados (incidência em relação às queimadas) apresentaram o formato da borda do Arco do Desmatamento (conforme figura 2). Sugerindo que o Moran conseguiu captar áreas que estão sendo abertas com a utilização do fogo e consequentemente, estão causando agravos à saúde da população, tanto por problemas respiratórios quanto por problemas cardiovasculares nos grupos etários estudados.

A mudança do “cluster” para a região Nordeste do estado no período de 2011 a 2016, se dá pela provável mudança da dinâmica do desmatamento no estado, que ocorria de Sul para o Norte, conforme o avanço da fronteira agrícola. Aparentemente agora, esta se localiza mais ao Norte da Amazônia Legal, não estando mais no estado de Mato Grosso.

Provavelmente, novas áreas estão sendo abertas seguindo outra dinâmica, sem uma direção específica, indo na direção de regiões não desmatadas, de áreas remanescentes de vegetação nativa.

Domingues e Bremann (2012) (75) estudaram o avanço da soja na região nordeste do estado e a descrevem da seguinte forma: a área analisada neste estudo apresenta uma grande extensão de terras protegidas, populações tradicionais e assentamentos rurais. Essa região vem sofrendo fortes pressões devido a interesses econômicos diversos, como a exploração de minérios e de madeira e a expansão da pecuária, provocando conflitos com as populações locais e o comprometimento da floresta e da biodiversidade. As regiões do Nordeste do estado são aquelas que mais crescem em termos demográficos.

Boa parte do crescimento da região se deve ao surgimento de novos núcleos rurais. O Nordeste de Mato Grosso se configura como alternativa para a absorção de um grande contingente de pessoas que exercem atividades ligadas à terra. (75)

O desmatamento na região deu-se principalmente em função da atividade pecuária, que predominou para a ocupação da área. O desmatamento na área e no arco do desmatamento está totalmente vinculado à expansão da atividade pecuária. A criação extensiva de gado é responsável por cerca de 80% das florestas desmatadas na Amazônia Legal. A cultura da soja normalmente substitui as áreas anteriormente ocupadas pela pecuária. (75) (80)

Além disso, a tendência é de que haja um aumento da expansão da cultura de soja em função da disponibilidade de terra e presença de infraestrutura disponível. A soja desloca a pecuária para novas áreas, com provável efeito de desmatamento adicional. Isso pode ser observado pelo fenômeno da redução do rebanho bovino nos principais municípios produtores de soja, porém com o aumento do rebanho nas regiões limítrofes, com destaque, no caso do Mato Grosso, para os municípios das regiões de abertura de novas terras. (75)

No mapa de estrutura agrária da Amazônia Legal de 2006 (81), a região dos “clusters” formados entre 2011 a 2016 aparece como fronteira consolidada com média a alta concentração fundiária, logo não foi aberta recentemente, embora aparente estar avançando sobre o Parque Indígena do Xingu. Na verdade, segundo o mapa, a fronteira já está chegando na margem do rio Xingu.

Segundo o mapa da fronteira agrícola da Amazônia Legal (também de 2006) (22), nesta mesma região há a produção de soja, milho e arroz, e não produz tanto quanto a região de Sinop e Sorriso, ou Campo Verde e Primavera. Este mapa não mostra o uso do solo pela pecuária.

A região do aglomerado está ao longo da rodovia BR 158, e reconhecidamente as estradas são um dos maiores responsáveis pelo desmatamento na Amazônia legal, normalmente, ocorre grande quantidade de desmatamentos próximo às estradas. (80)

A região pode não ter tido ainda uma produção tão significativa de grãos devido ao fato da BR não estar completamente asfaltada e assim o escoamento da produção de grãos da área fica prejudicado.

Após o novo Código Florestal (82) entrar em vigor, em maio de 2012, a taxa de desmatamento de 2012 para 2016 praticamente dobrou, de 757 para 1508, as queimadas não seguiram esse comportamento de 2012 para 2016. Sendo praticamente constante e com alguns anos em que o número de focos de queimadas é bem maior. De qualquer forma, durante o período de 2003 a 2016, Mato Grosso está entre os estados com mais focos de queimadas do Brasil.

Coutinho (2005) (17) verificou expressiva redução de focos de queimadas dentro de unidades de conservação e terras indígenas, assim como Ferreira e colaboradores (2005) verificaram que o desmatamento dentro de unidades de conservação e terras indígenas em MT foi de 3,5%, enquanto fora foi de 33,9%, uma diferença de cerca de dez vezes. Contrariando assim a ideia de que as áreas protegidas na Amazônia não estão cumprindo sua função principal na conservação e uso racional dos recursos na região, pelo fato de que muitas não estão ainda implementadas e apresentam diferentes graus de vulnerabilidade. (80)

Provavelmente a maior parte das áreas não desmatadas no estado estão em unidades de conservação e terras indígenas, mostrando a importância da manutenção destas áreas que têm sofrido com a pressão dos setores produtivos.

O presente estudo apresenta como limitação o fato de terem sido usados dados secundários, os quais possuem muitas limitações. Os dados de temperatura e umidade da análise 1 aparentemente possuem algumas irregularidades e serão revistos no futuro. Apesar das limitações, o uso de dados estimados por modelagem é uma ferramenta importante no monitoramento da qualidade do ar na região da Amazônia brasileira, onde emissões são principalmente resultado da queima de biomassa e devido ao fato da área ser muito extensa, tornam-se impossíveis fazer medições diretas da poluição.

Outra limitação foi a utilização de temperatura e umidade médias na análise 2, sendo que deveriam ter sido utilizados os máximos e mínimos para verificar de forma mais apropriada o efeito das variáveis de confusão sobre os agravos.

Um ponto forte da pesquisa foi a utilização de uma medida indireta de poluição (queimadas) que serviu como medida de associação com agravos à saúde, utilizado também em outros trabalhos na Amazônia Legal. (83)

Um segundo ponto forte do projeto foi a utilização de três análises diferentes que conseguiram mostrar associações de forma complementar, fazendo com que durante a pesquisa a questão da poluição atmosférica fosse abordada de forma mais abrangente com resultados que comprovaram a associação entre poluição e adoecimento.

7.4 - Considerações finais

Este estudo reforça evidências dos efeitos adversos devido à exposição a poluentes do ar gerados pela queima de biomassa. Também apresenta a queimada como uma alternativa útil de indicador de exposição em áreas sem estações de monitoramento de poluição do ar.

O desmatamento não é só uma questão ambiental na região amazônica brasileira, é também uma questão de saúde pública, pois o uso do fogo para a abertura de novas áreas atinge a saúde da população local e tem como consequência o adoecimento desta.

O que requer a união de diversos profissionais de diversas áreas para desenvolver uma política de combate ao desmatamento, não usando somente instrumentos de comando e controle (como a fiscalização), mas também instrumentos econômicos (como taxação ou estímulos econômicos), já que alguns autores demonstraram o efeito da variação do valor das “commodities”, como a soja, no mercado internacional sobre o desmatamento, mostrando que a questão econômica também influencia no desmatamento. (74) (84)

É necessária, também, a união de todos os estados da Amazônia Legal, em um grupo de trabalho regional efetivo, juntamente com o governo federal.

Ferreira e colaboradores propõem o ordenamento territorial da Amazônia Legal pelo Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) como uma possível solução para subsidiar as decisões de planejamento socioambiental e desenvolvimento econômico em bases sustentáveis da região. (80)

Também é necessária a manutenção e se possível a criação de novas unidades de conservação e demarcação de terras indígenas. Estas áreas precisam ser protegidas da ação de especuladores, porque aparentam ser a maior parte da vegetação restante no estado e já está comprovado que estas terras são importantes não só para a manutenção dos ecossistemas, mas também para a proteção da saúde da população.

8- CONCLUSÃO

- 1 – Foi verificada a associação entre queimadas e internações por problemas respiratórios e cardiovasculares no estado de Mato Grosso;
- 2 – Foi verificada a associação entre internações por problemas respiratórios e cardiovasculares, e material particulado e monóxido de carbono, em quinze municípios de Mato Grosso;
- 3 – Foram encontrados padrões de defasagem entre exposições e desfechos nas duas análises de séries temporais desenvolvidas;
- 4 – Foi verificada a presença de coincidência espacial significativa entre queimadas e internações.

9- ANEXO 1

Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina

APROVAÇÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de **13/03/2013**, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº **078/13** intitulado: **"AVALIAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO ENTRE MATERIAL PARTICULADO E AGRAVOS À SAÚDE DA POPULAÇÃO EM QUINZE MUNICÍPIOS DE MATO GROSSO"** apresentado pelo Departamento de **PATOLOGIA**

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar ao CEP-FMUSP, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 196, de 10/10/1996, inciso IX.2, letra "c").

Pesquisador (a) Responsável: Luiz Alberto Amador Pereira

Pesquisador (a) Executante: Suzana de Souza Rodrigues

CEP-FMUSP, 14 de Março de 2013.

Prof. Dr. Roger Chammas
Coordenador
Comitê de Ética em Pesquisa

Prof. Dr. RAYMUNDO SOARES AZEVEDO NETO
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina
e-mail: cep.fm@usp.br

10- REFERÊNCIAS

1. Dockery D, Pope A. Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. *Annu Rev Public Health*. 1994;15:107–32.
2. Wilson WE, Suh HH. Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies. *J Air Waste Manage Assoc* [Internet]. 1997;47(12):1238–49. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.1997.10464074>
3. Resende F. Poluição Atmosférica por Emissão de Material Particulado: Avaliação e Controle nos Canteiros de Obras de Edifícios. Universidade de São Paulo; 2007.
4. Cançado JE, Braga A, Pereira LA, Arbex MA, Saldiva P, Santos U. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *J Bras Pneumol* 32 (Supl 1). 2006;32(Supl 1):S5–11.
5. Schwela DH, Goldammer JG, Morawska LH, Simpson O. Health guidelines for vegetation fire events. Geneva; 1999.
6. Malilay J. A review of factors affecting the human health impacts of air pollutants from forest fires. 1998;(October 1998):6–9.
7. Ribeiro H, Assunção JV De. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estud Avançados*. 2002;16(44):125–48.
8. Yanagi Y, Assunção JV de, Barrozo LV. The impact of atmospheric particulate matter on cancer incidence and mortality in the city of São Paulo, Brazil. *Cad Saude Publica* [Internet]. 2012;28(9):1737–48. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2012000900012&lng=en&tlng=en
9. Arbex MA. Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara – SP. *Patologia (Mex)*. 2001;
10. Agency USEP. Sulfur Dioxide Basics [Internet]. [cited 2017 Jun 13]. Available from: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what-is-so2>
11. Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Thurston GD. to Fine Particulate Air Pollution. *J Am Med Assoc* [Internet]. 2002;287(9):1132–41. Available from:

- <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.287.9.1132>
12. CETESB CA do E de SP. Poluentes [Internet]. [cited 2017 Jun 13]. Available from: http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp
 13. Ambiente M do M. Poluentes Atmosféricos [Internet]. [cited 2017 Jun 13]. Available from: [http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosféricos](http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosfericos)
 14. Agency USEP. Health Effects of Ozone Pollution [Internet]. [cited 2017 Mar 22]. Available from: www.epa.gov/ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution
 15. Arbex MA, Cançado JAD, Pereira LAA, Braga ALF, Saldiva PHN. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. J bras pneumol [Internet]. 2004;2(16):158–75. Available from: <http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v30n2/v30n2a15>
 16. Radojevic MHH. Air Quality in Brunei Darussalam during the 1998 haze episode. Atmos Environ. 1999;33(22):3651–8.
 17. Coutinho AC. Dinâmica das queimadas no Estado de Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local. 2005;308.
 18. Santiago A. Material Particulado Total Suspenso Na Baixa Atmosfera Em Cuiabá-Mt No Período de queimadas. Universidade Federal de Mato Grosso; 2013.
 19. Yamasoe MA, Artaxo P, Miguel AH, Allen AG. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: Water-soluble species and trace elements. Atmos Environ. 2000;34(10):1641–53.
 20. Grosso G de M. Historia [Internet]. [cited 2017 Jul 19]. Available from: <http://www.mt.gov.br/historia>
 21. Gonçalves K dos S, Siqueira ASP, Castro HA de, Hacon S de S. Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. Cien Saude Colet [Internet]. 2014;19(9):3809–18. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232014000903809&lng=pt&tlng=pt
 22. IBGE. Amazônia Legal - Fronteira Agrícola [Internet]. 2006 [cited 2017 Aug 6]. Available from: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_regionais/sociedade_e_economia/int

egrado_zee_amazonia_legal/amazonia_frenteira_agricola.pdf

23. Ambiente CN de M. Resolução CONAMA. Brasil; 1989 p. 15048.
24. Ambiente CN de M. Resolução CONAMA. Brasil; 1990 p. 15937–9.
25. Lodgejr J. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Environ Sci Pollut Res [Internet]. 2005;3(91):23–23. Available from: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>
26. Ambiente M do M. Controle e Prevenção do Desmatamento [Internet]. [cited 2017 Aug 27]. Available from: <http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-prevenção-do-desmatamento>
27. Ambiente M do M. A Estratégia Nacional para REDD+ do Brasil [Internet]. [cited 2017 Aug 27]. Available from: <http://redd.mma.gov.br/pt/estrategia-nacional-para-redd>
28. Governo Do Estado De Mato Grosso SDEDMA– S. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Estado do Mato Grosso PPCDQ / MT 2009. 2009;69.
29. Grosso G de M. Governo do Estado Lança Plano de Combate às queimadas nesta Quarta-feria [Internet]. [cited 2017 Aug 27]. Available from: www.mt.gov.br
30. Saúde M da. Poluição Atmosférica [Internet]. [cited 2017 Aug 27]. Available from: http://portalsaude.saude.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12940&Itemid=735
31. Aplicada I de PE. O que é? Amazônia legal [Internet]. [cited 2017 Aug 13]. Available from: http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2154:catid=28&Itemid=23
32. Estatística IB de G e. Áreas Especiais [Internet]. [cited 2017 Aug 13]. Available from: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialegal.shtm?c=2>
33. Estatística IB de G e. Amazônia Legal [Internet]. [cited 2017 Aug 13]. Available from: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_regionais/sociedade_e_economia/amazonia_legal/amazonia_legal_2014.pdf

34. Governo Do Estado De Mato Grosso. Geografia [Internet]. [cited 2017 Jun 26]. Available from: <http://www.mt.gov.br/geografia>
35. Amazônia I. Arco do Desmatamento [Internet]. [cited 2017 Aug 13]. Available from: <http://ipam.org.br/glossario/arco-do-desmatamento/>
36. Espaciais IN de P. Programa Queimadas [Internet]. Available from: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/informacoes/perguntas-frequentes>
37. Tadano YDS, Ugaya CML, Franco AT. Método de regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. *Ambient Soc.* 2009;12(2):241–55.
38. Carmo CN do, Hacon SDS. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. *Cien Saude Colet* [Internet]. 2013;18(11):3245–58. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232013001100015&lng=pt&nrm=iso&tlng=en
39. Paula G a. MODELOS DE REGRESSÃO com apoio computacional. 2010;403. Available from: <http://www.ime.usp.br/?giapaula/mlgs.html>.
40. David JSE, Ferrari SLP. Uma análise de associação entre poluição atmosférica e saúde, usando um modelo de regressão binomial negativo. *Rev Bras Estatística.* 2001;62(218):7–24.
41. James G, Witten D, Hastie T, Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning [Internet]. Books.Google.Com. 2015. 440 p. Available from: http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=rQg2sgPo2gQC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Springer+Texts+in+Statistics&ots=23Txmqw8eo&sig=TYcfX23MnVw8VTddpT_XCf0_8VA
42. Conceição GM de S, Saldiva PHN, Singer J da M. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. *Rev Bras Epidemiol* [Internet]. 2001;4(3):206–19. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2001000300007&lng=en&nrm=iso&tlng=pt
43. Schwartz J. Nonparametric Smoothing in the Analysis of Air Pollution and Respiratory

- Illness. Can J Stat [Internet]. 1994;22(4):471–87. Available from: http://www.jstor.org/stable/3315405?seq=1#page_scan_tab_contents
44. Tadano YDS. Análise do impacto de mp 10 na saúde populacional: estudo de caso em araucária, pr. UNiversidade Tecnológica Federal do Paraná; 2007.
 45. Milhorança IA. Modelos paramétricos para séries temporais de contagem. Universidade de São Paulo; 2014.
 46. Rodrigues EC. Modelos de Regressão Linear Simples - Análise de Resíduos [Internet]. [cited 2017 Aug 1]. Available from: http://www.iceb.ufop.br/deest/p3f1l_d3p4rt4m3nt03st/arquivos/0.164970001409694296.pdf
 47. Câmara G, Monteiro AM, Fucks SD, Carvalho MS. Cap. 1 - Análise Espacial e Geoprocessamento. In: Análise Espacial de Dados Geográficos. Brasília: Embrapa; 2014. p. 26.
 48. Carvalho MS, Câmara G, Cruz OG, Correa V. Cap 5 - Análise de Dados de Área. Análise Espac Dados Geográficos. 2014;0:44.
 49. Medeiros MJ De. Relacionamento entre câncer colorretal e indicadores socioeconômicos no Município de São Paulo : uso de modelos de regressão espacial Relacionamento entre câncer colorretal e indicadores socioeconômicos. Universidade de São Paulo; 2015.
 50. Anselin L. Local Indicators of Spatial Association—LISA. Geogr Anal. 1995;27(2):93–115.
 51. Guyon P, Frank G, Welling M, Chand D, Artaxo P, Rizzo L, et al. Airborne measurements of trace gas and aerosol particle emissions from biomass burning in Amazonia. Atmos Chem Phys [Internet]. 2005;5:2989–3002. Available from: <http://www.atmos-chem-phys.net/5/2989/2005/acp-5-2989-2005.pdf>
 52. Carmo CN Do, Hacon S, Longo KM, Freitas S, Ignotti E, Leon AP De, et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. Rev Panam Salud Pública. 2010;27(1):10–6.
 53. Rodrigues PCDO, Ignotti E, Hacon SDS. Distribuição espaço-temporal das queimadas e internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos de idade em Rondônia, 2001 a 2010. Epidemiol e Serviços Saúde [Internet]. 2013;22(3):455–64.

- Available from: http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742013000300010&lng=en&nrm=iso&tlng=en
54. Rosa AM, Ignotti E, Hacon S de S, Castro HA de. Análise das internações por doenças respiratórias em Tangará da Serra – Amazônia Brasileira. *J Bras Pneumol*. 2008;34(8):575–82.
 55. Ignotti E, Hacon SD, Junger WL, Mourao D, Longo K, Freitas S, et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. *Cad Saude Publica* [Internet]. 2010;26(4):747–61. Available from: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v26n4/17.pdf>
 56. Nascimento LFCQAPP de M. Internacoes Por Pneumonias E Queimadas: Uma Abordagem Espacial admissions Due to Pneumonia and Biomass Burning: a Spatial Approach. *J Pediatr* 88(2)177-183. 2012;88(100936):177–83.
 57. Botelho C, Correia AL, Silva A, Macedo A, Silva C. Fatores ambientais e hospitalizações em crianças menores de cinco anos com infecção respiratória aguda. *Cad saúde pública Saúde Pública*,. 2003;19(6):1771–80.
 58. Mukherjee S, Roychoudhury S, Siddique S, Banerjee M, Bhattacharya P, Lahiri T, et al. Respiratory symptoms, lung function decrement and chronic obstructive pulmonary disease in pre-menopausal Indian women exposed to biomass smoke. *Inhal Toxicol* [Internet]. 2014;26(14):866–72. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/08958378.2014.965560>
 59. Silva AMC da, Mattos IE, Ignotti E, Hacon S de S. Material particulado originario de queimadas e doencas respiratorias. *Rev Saude Publica* [Internet]. 2013;47(2):345–52. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102013000200345&lng=pt&tlng=pt
 60. de Oliveira BFA, Ignotti E, Artaxo P, do Nascimento Saldiva PH, Junger WL, Hacon S. Risk assessment of PM_{2.5} to child residents in Brazilian Amazon region with biofuel production. *Environ Heal* [Internet]. 2012;11(1):64. Available from: <http://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-11-64>
 61. Artaxo P, Gatti L V., Leal AMC, Longo KM, Freitas SR De, Lara LL, et al. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amaz*. 2005;35(2):185–96.

62. Artaxo P, Martins JV, Yamasoe MA, Procópio AS, Pauliquevis TM, Andreae MO, et al. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. *J Geophys Res D Atmos*. 2002;107(20):1–14.
63. Andrade Filho VS de, Artaxo P, Hacon S, Carmo CN do, Cirino G. Aerossois de queimadas e doenças respiratorias em crianças, Manaus, Brasil. *Rev Saude Publica* [Internet]. 2013;47(2):239–47. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102013000200239&lng=pt&tlng=pt
64. Makar M, Antonelli J, Di Q, Cutler D, Schwartz J, Dominici F. Estimating the Causal Effect of Low Levels of Fine Particulate Matter on Hospitalization. *Epidemiology* [Internet]. 2017;28(5):627–34. Available from: <http://insights.ovid.com/crossref?an=00001648-201709000-00001>
65. Pope III CA, Schwartz J, Ransom M. Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley. *Arch Env*. 1992;47:211–7.
66. Nunes KVR, Ignotti E, Hacon S de S. Circulatory disease mortality rates in the elderly and exposure to PM 2.5 generated by biomass burning in the Brazilian Amazon in 2005. Mortalidade por doenças circulatórias na população idosa e exposição a PM 2,5 em decorrência das queimadas na Amazôn. *Cad Saude Publica*. 2013;29(3):589–98.
67. Peters A, Liu E, Verrier R, Schwartz J, Gold D, Mittleman M, et al. Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia. *Epidemiology*. 2000;11(1):11–7.
68. Quinn AK, Ae-Ngibise KA, Enuameh Y, Mujtaba MN, Chillrud SN, Blair J. Association of Carbon Monoxide exposure with blood pressure among pregnant women in rural Ghana : evidence from GRAPHS. *Int J Hyg Env Heal*. 2016;219(2):176–83.
69. Tramuto F, Cusimano R, Cerame G, Vultaggio M, Calamusa G, Maida CM, et al. Urban air pollution and emergency room admissions for respiratory symptoms : a case-crossover study in Palermo , Italy. *Environ Heal* [Internet]. 2011;10(1):31. Available from: <http://www.ehjournal.net/content/10/1/31>
70. Conceição GMS, Miraglia SGEK, Kishi HS, Saldiva PHN, Singer JM. Air Pollution and Child Mortality : A Time – Series Study in São Paulo , Brazil. *Environ Health Perspect*. 2001;109(3):347–50.

71. Tuan TS, Venâncio TS, Nascimento LFC. Effects of Air Pollutant Exposure on Acute Myocardial Infarction , According to Gender. *Arq Bras Cardiol.* 2016;1077(3):216–22.
72. Smith LT, Araga LEOC, Sabel CE, Nakaya T. Drought impacts on children ' s respiratory health in the Brazilian Amazon. *Sci Rep.* 2014;3726(4):1–8.
73. Diaz M del CV, Nepstad D, Mendonça MJC, Motta RS da, Alencar A, Gomes JC, et al. O Prejuízo Oculto do Fogo : Custos Econômicos das Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia. 2002.
74. Fearnside PM. Desmatamento na Amazônia brasileira : história , índices e conseqüências. *Megadiversidade.* 2005;1(1):113–23.
75. Domingues MS, BERMANN C. O ARCO DE DESFLORESTAMENTO NA AMAZÔNIA : DA PECUÁRIA À SOJA. *Ambient Soc.* 2012;XV(2):1–22.
76. Klink CA, Machado RB. A conservação do Cerrado brasileiro. *MEGADIVERSIDADE.* 2005;1(1):147–55.
77. Margulis S. Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira. Brasília: Banco Mundial; 2003. 100 p.
78. Marle MJE van, Field RD, Welf GR van der, Wagt IAE de, Houghton RA, Rizzo L V., et al. Fire and deforestation dynamics in Amazonia (1973–2014). *Global Biogeochem Cycles.* 2017;31:24–38.
79. Reddington CL, Butt EW, Ridley DA, Artaxo P, Morgan WT, Coe H, et al. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. *Nat Geosci* [Internet]. 2015;8(10):768–71. Available from: <http://www.nature.com/doi/10.1038/ngeo2535>
80. Ferreira LV, Venticinque E, Almeida S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estud avançados.* 2005;19(53):157–66.
81. IBGE. Amazônia Legal - Estrutura Agrária [Internet]. 2006 [cited 2017 Aug 6]. Available from: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_regionais/sociedade_e_economia/integrado_zee_amazonia_legal/amazonia_estrutura_agraria.pdf
82. República CC-P da. Código Florestal [Internet]. Brasil; 2012. Available from: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

83. Maria D, Ferreira R, Luiz J, Nunes S. Impactos Das Queimadas Sobre a Saúde Da População Humana Na Amazônia Maranhense. *Rev Pesq Saúde*. 2016;17(3):141–6.
84. Macedo MN, DeFries RS, Morton DC, Stickler CM, Galford GL, Shimabukuro YE. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. *Proc Natl Acad Sci [Internet]*. 2012;109(4):1341–6. Available from: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1111374109>