

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

LUCAS VINICIUS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO MATERIAL PARTICULADO
NA SAÚDE DA POPULAÇÃO DE PONTA GROSSA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PONTA GROSSA
2019**

LUCAS VINICIUS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO MATERIAL PARTICULADO
NA SAÚDE DA POPULAÇÃO DE PONTA GROSSA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito à
matéria Trabalho de Conclusão de
Curso 2, do curso Bacharelado de
Engenharia Química, do
Departamento de Engenharia
Química, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Yara de
Souza Tadano

**PONTA GROSSA
2019**



TERMO DE APROVAÇÃO

Avaliação de impacto do material particulado na saúde da população de Ponta Grossa

por
Lucas Vinicius da Silva

Monografia apresentada no dia 5 de novembro de 2019 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Matheus Lopes Demito
(UNICESUMAR)

Prof. Dr. Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe.
(UTFPR)

Profa. Dra. Yara de Souza Tadano
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

Dedico este trabalho à minha família, pelo incentivo, à minha orientadora, por toda ajuda.

AGRADECIMENTOS

A SANEPAR que nos cedeu um espaço para realizarmos a instalação do equipamento de amostragem.

Aos colaboradores do Laboratório de Análise e Qualidade do ar (*LabAir*) na Universidade Federal de Curitiba, que foram bastante prestativos e importantes no desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

SILVA, Lucas Vinicius. **Avaliação de impacto do material particulado na saúde da população de ponta grossa**. 2019. 54 pgs. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado de Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Mundialmente, fala-se sobre poluição do ar e os impactos que pode trazer para a humanidade. Um dos poluentes mais preocupantes, devido à consequência de exposição a ele, é o material particulado, mais especificamente sua fração de diâmetro aerodinâmico menor ou igual a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$). O material é inalado junto com o ar na respiração e pode gerar graves problemas circulatórios e respiratórios. Diversos estudos têm como foco o $\text{MP}_{2,5}$ e seus efeitos na saúde, entretanto, no Brasil, há uma escassez de dados deste poluente, portanto, o número de estudos é reduzido. No estado do Paraná, somente um estudo para a cidade de Curitiba foi encontrado na literatura. A cidade de Ponta Grossa, apesar de ser o quarto município mais populoso do estado, não possui estudos relacionados à poluição atmosférica. Destaca-se que somente em 2017, o Instituto Ambiental do Paraná instalou uma estação de monitoramento da qualidade do ar na região. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os impactos à saúde causados pelo $\text{MP}_{2,5}$ para a população da cidade de Ponta Grossa no período entre 28 de setembro de 2016 e 30 de abril de 2018. Para tanto, com auxílio do amostrador Impactador Harvard, amostrou-se o $\text{MP}_{2,5}$, com estes dados, analisou-se o impacto do poluente na saúde da população da cidade, utilizando o modelo de regressão linear generalizado (com regressão de Poisson e Binomial Negativa). Além da concentração de $\text{MP}_{2,5}$, considerou-se ainda dados meteorológicos (umidade relativa, temperatura média, pressão, precipitação, radiação solar e velocidade do vento) e dados diários de internação por doenças respiratórias (IDR) e circulatórias (IDC), separadamente. Como a poluição atmosférica e as variáveis meteorológicas (temperatura média - TM e umidade relativa - UR) podem afetar a saúde populacional alguns dias após a exposição, foram realizadas análises com defasagens (chamadas lags) de até 7 dias para $\text{MP}_{2,5}$, 3 dias para temperatura e umidade. O modelo com regressão Binomial Negativa se ajustou melhor em ambos os casos (IDR e IDC). O melhor ajuste para IDR foi para lag6- $\text{MP}_{2,5}$, lag0-TM e lag0-UR, para IDC, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o lag2- $\text{MP}_{2,5}$, lag3-TM e lag2-UR. Calculou-se o custo em hospitalizações causadas pela exposição ao poluente, que resultou em cerca de R\$ 14.388,22. Com a avaliação de impacto e a valoração, pode-se concluir que, na cidade de Ponta Grossa, o $\text{MP}_{2,5}$ não tem grandes impactos na saúde da população.

Palavras-Chave: Material Particulado. Modelo Linear Generalizado. Doenças Respiratórias. Doenças Cardiovasculares.

ABSTRACT

SILVA, Lucas Vinicius. **Evaluation of the impact of particulate matter in the health of Ponta Grossas's population.** 2019. 54 pgs. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado ou Tecnologia em Engenharia Química) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa.

Worldwide, everyone talks about pollution and the impacts it causes to humanity. One of the most worrying pollutants, mostly because of the consequences to its exhibition, is the particulate matter with aerodynamical diameter less than $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$). The particulate matter is inhaled with air during the breathing and it can lead to serious respiratory and circulatory problems. Several studies have focus on $\text{MP}_{2,5}$ and its effects in the human health, however, there isn't much data about it in Brazil, what leads to a reduced number of studies. In Ponta Grossa there was no data about this kind of particulate matter, even being considered the fourth city with more concentration of people in the state of Paraná. Considering it, the objective of the work is evaluating the impacts of the $\text{PM}_{2,5}$ to the population of Ponta Grossa in the period of 5th September 2019 until 30th April 2018. Only in 2017 the Ambiental Institute of Paraná (IEP) installed a monitoring station of the air quality in the city. Therefore, with the support of the Impactor Harvard, the $\text{PM}_{2,5}$ could be sampled and the generalized linear model (testing Negative Binomial and Poisson models) was enforced to these data. Beside the $\text{PM}_{2,5}$ concentration, the meteorological data (relative humidity, average temperature, pressure, precipitation, solar radiation and wind speed) and number of hospitalizations per day of respiratory (IDR) and circulatory (IDC) diseases was considered too. The air pollution and the meteorological variables (relative humidity - UR - and average temperature - TM) may affect the health till 7 days after the exhibition, so it was considered lag 0-7 to $\text{PM}_{2,5}$; lag 0-3 TM e lag 0-3 UR. The model that more fits into the data to IDR was lag6- $\text{MP}_{2,5}$, lag0-TM and lag-UR (relative humidity), and to IDC the best model is lag2- $\text{MP}_{2,5}$, lag3-TM and lag2-UR. The costs of the hospitalizations caused by $\text{PM}_{2,5}$ are evaluated to R\$ 14.388,22. After calculated the relative risk and the valuation, it can be concluded that in Ponta Grossa the $\text{PM}_{2,5}$ don't have huge impacts in the health of the population.

Keywords: Particulate Matter. Generalized linear models. Respiratory diseases. Cardiovascular diseases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação entre grãos de areia, fio de cabelo e MP_{10} e $MP_{2,5}$	15
Figura 2 - Ilustração de como ocorre a contaminação por $MP_{2,5}$	17
Figura 3 - Local da amostragem via satélite e seu entorno.....	22
Figura 4 - Imagens da SANEPAR, onde está instalado o equipamento para realização da amostragem.	23
Figura 5 – Impactador <i>Harvard</i>	24
Figura 6 – Bomba à vácuo, utilizada na amostragem.	24
Figura 7 - Microbalança analítica e caneta eliminadora de eletrostática	25
Figura 8 - Médias mensais de $MP_{2,5}$ e variáveis meteorológicas	34
Figura 9 - Média de concentração diária de $MP_{2,5}$ por dia de amostragem.....	35
Figura 10 - Internações por mês de doenças respiratórias e circulatórias	37
Figura 11 - Gráfico desvio normal para (a) Poisson e (b) Binomial negativo.	39
Figura 12 - Gráfico de desvio normal (a) Poisson e (b) Binomial Negativo	39
Figura 13 - Gráficos de desvio normal para cada caso de adição de tendência temporal a) diasem e IDR; b) feriado e IDR; c) diasem, feriado e IDR; d) diasem e IDC; e) feriado e IDC e f) diasem, feriado e IDC	40
Figura 14 - Gráfico de desvio normal para a) 8 graus de liberdade e IDR – internações por doenças respiratórias; b) 10 graus e IDR; c) 12 graus e IDR; d) 8 graus e IDC – internações por doenças circulatórias; e) 10 para IDC e f) 12 para IDC	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média, desvio padrão, número de dias amostrados, máximo e mínimo mensal da amostragem do MP _{2,5}	33
Tabela 2 - Análise descritiva dos dados para o período de 01/10/2016 até 30/04/2018	33
Tabela 3 - Dias, por mês, que excederam o padrão de qualidade do ar da OMS (25 µg/m ³).....	35
Tabela 4 - Média, desvio padrão, máximo e mínimo para os dados de saúde.	36
Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson das variáveis analisadas.....	37
Tabela 6 - Primeiros dados do banco de dados utilizado pelo <i>software</i> R	38
Tabela 7 - Número de Akaike em cada caso de adição de tendência temporal.....	40
Tabela 8 - Número de AIC para cada número de graus de liberdade	41
Tabela 9 - Número de AIC para cada defasagem realizada.	42
Tabela 10 - Tabela <i>de desvio</i> para IDR do melhor ajuste (lag6-MP _{2,5} ; lag0-T e lag0-UR).....	43
Tabela 11 - Tabela de desvio para IDC do melhor ajuste (lag2-MP _{2,5} ; lag 3-T e lag2-UR).....	43
Tabela 12 - Coeficientes de regressão para IDR considerando lag6-MP _{2,5} , lag0-T e lag0-UR	44
Tabela 13 - Coeficientes de regressão para IDC considerando lag2-MP _{2,5} , lag3-T e lag2-UR	44
Tabela 14 - Risco Relativo das variáveis significativas para IDR e IDC e do MP _{2,5} ..	44
Tabela 15 - Risco atribuído (PRA) e número de internação por exposição.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. OBJETIVO GERAL.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	12
3.2. MATERIAL PARTICULADO.....	14
3.3. ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS.....	18
3.4. ESTUDOS REALIZADOS NO BRASIL E NO MUNDO.....	19
4. METODOLOGIA.....	22
4.1. LOCAL DA AMOSTRAGEM.....	22
4.2. AMOSTRAGEM DO MP _{2,5}	23
4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA.....	25
4.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA POLUIÇÃO NA SAÚDE.....	26
4.5. RISCO RELATIVO.....	27
4.6. VALORAÇÃO DE IMPACTOS NA SAÚDE.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1. ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS.....	32
5.2. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO MP _{2,5} NA SAÚDE.....	37
6. CONCLUSÕES.....	46
7. TRABALHOS PUBLICADOS.....	47
5. REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE A.....	54

1. INTRODUÇÃO

No panorama mundial, a poluição é uma das maiores discussões e preocupações, principalmente a poluição atmosférica. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016) confirma em seu relatório, que mais de 92% da população mundial vive em locais com altas emissões, já que os limites de qualidade do ar são todos excedidos.

Entre os poluentes, está o material particulado, que é uma mistura de componentes líquidos e sólidos presentes no ar, e sua composição varia de acordo com os poluentes contidos no ar da região em estudo. Esse poluente, em sua faixa mais fina (diâmetro aerodinâmico menor ou igual a $2,5 \mu\text{m}$ – $\text{MP}_{2,5}$) pode gerar muitos problemas para a saúde humana, já que é muito pequeno e pode adentrar tanto o sistema respiratório como o circulatório, e em casos de grande tempo de exposição pode causar doenças que levam a morte (VALAVANDIS *et al.*, 2014; ANDREÃO *et al.*, 2018).

Mundialmente, vários estudos são feitos a fim de analisar estes impactos e levar à conscientização para o desenvolvimento de políticas de diminuição da emissão, principalmente do material particulado fino. Laden (2000) analisou dados de $\text{MP}_{2,5}$ em seis cidades dos EUA e concluiu que, se a concentração desse material aumentar em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na atmosfera, haverá um aumento de até 3,4% na mortalidade da população.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão responsável por tomar medidas para que a poluição atmosférica não cause problemas à saúde humana e ao meio ambiente, porém apenas com sua Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, que aborda sobre padrão de qualidade do ar, e sugere padrão de qualidade do ar para o $\text{MP}_{2,5}$.

Por essa razão, muitos estudos estão sendo realizados, para que sejam evidenciados os riscos que esse poluente causa para a saúde humana, como o de Nascimento (2016) em Volta Redonda, no Rio de Janeiro; Polezer (2017) em Curitiba, no Paraná; Machin (2018) em Cuiabá, no Mato Grosso, entre outros.

Apesar de Ponta Grossa ser a quarta cidade mais populosa do estado do Paraná, segundo o Censo (2010) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a instalação de uma estação de monitoramento da qualidade do ar ocorreu apenas no ano de 2017 (NISHIDA, 2017). O Instituto Ambiental do Paraná (IAP)

fez a instalação da unidade, porém não é feita amostragem de $MP_{2,5}$. Sendo assim, não existem dados desse poluente para a cidade.

Diante disso, com este trabalho surge a possibilidade de identificar o perfil ambiental-toxicológico na cidade monitorando o $MP_{2,5}$, e ainda analisar os impactos do poluente na saúde da população de Ponta Grossa, avaliando-se o número de internações que poderiam ser evitadas se o padrão de qualidade do ar não for excedido. Sendo que este é um assunto bastante impactante para a sociedade, e também serve como subsídio ao governo, já que Ponta Grossa não possui nenhuma medição deste material.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho será analisar o impacto que o material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que $2,5\mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) causa na saúde da população de Ponta Grossa, com dados do período de 31/10/2016 até 30/04/2018.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral seja atingido, foram adotados alguns objetivos específicos, como observa-se a seguir:

- Realizar a amostragem diária do $\text{MP}_{2,5}$ utilizando um impactador *Harvard* na região central de Ponta Grossa;
- Analisar a concentração mássica diária do $\text{MP}_{2,5}$;
- Aplicar o modelo linear generalizado de regressão de Poisson e Binomial Negativa para avaliar os impactos do $\text{MP}_{2,5}$ e variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, entre outros) na saúde populacional (internações por doenças respiratórias e cardiovasculares) de Ponta Grossa;
- Calcular a valoração dos impactos causados na saúde utilizando o método de Nagpure et al. (2014).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será abordado sobre a poluição atmosférica, o material particulado, estudos epidemiológicos e estudos semelhantes já realizados no mundo e no Brasil.

3.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

No cenário mundial, observa-se que a poluição é um assunto importante devido aos vários problemas ambientais gerados. E uma das maneiras de poluição é a atmosférica, que tem dois tipos: a poluição natural, gerada por pó, ou ainda pólen e esporos, e a poluição antropogênica, que se trata das emissões causadas pela atividade do homem. As emissões são geralmente tudo aquilo que é desprendido para o ar atmosférico (SILVA, 2006).

Existem vários tipos de poluentes atmosféricos que podem causar diferentes efeitos na saúde humana. Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018, um poluente atmosférico é qualquer matéria ou energia que quando emitido com intensidade e quantidade que exceda o limite estabelecido possam tornar o ar nocivo à saúde humana, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, construções, fauna e flora ou ainda prejudicial à segurança.

Alguns compostos que podem ser considerados perigosos quando excedem o limite de emissão, por exemplo, são os materiais particulados em suspensão no ar, inaláveis ou não, fumaça, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), entre outros (CONAMA, 2018).

O Conselho Nacional do meio ambiente (CONAMA), órgão criado em 1982 pela Lei nº 6.938/81, auxilia o governo na preservação do meio ambiente, propondo regulamentos e determinando limites de emissão de alguns compostos que têm potencial de agredir o meio ambiente e a saúde humana. Os estados ficaram com a responsabilidade de fazer o monitoramento dos níveis de qualidade do ar e fazer a fiscalização necessária (CONAMA, 2006).

As normas estabelecidas, procuram delimitar a emissão de poluentes atmosféricos. Existem padrões de qualidade do ar, primários e secundários, como observa-se na Resolução n.º 491 (2018), sendo que os primários servem para definir uma concentração dos poluentes que, se excedida pode gerar danos à saúde

da população, e os secundários definem concentrações de poluentes que, se excedidas podem afetar o bem-estar da população, juntamente com dano à fauna, flora, materiais (de forma geral) e ao meio ambiente. Essa resolução é nova, antes de entrar em vigor em 2018, a Resolução n.º 003 (1990) era o que estabelecia os padrões, e não existia um limite para o MP_{2,5}, o que mudou na atual.

Caso essas concentrações sejam excedidas, ficaram definidos três níveis de estados críticos de qualidade do ar: Atenção, Alerta e Emergência. Na Resolução n.º 491 do CONAMA (2018), encontram-se as concentrações mínimas para que cada situação seja caracterizada como um dos níveis considerados. Quando o cenário se encaixa em um dos níveis, são tomadas providências necessárias por alguma autoridade indicada pelo estado, sendo que todas as providências tomadas, caso encontre-se em nível de Atenção ou Alerta são para evitar entrar em estado de Emergência, e cabe à autoridade traçar planos para o mapeamento e diminuição da emissão dos poluentes.

No Decreto Estadual nº 59113/2013 do estado de São Paulo, por exemplo, foram estabelecidos dois critérios para a qualidade do ar, as Metas Intermediárias (MI), cumpridas em etapas, visando a melhoria gradativa da qualidade do ar, e os Padrões Finais (PF) que são definidos a partir de estudos a respeito do assunto (CETESB, 2017).

Um dos modos da CETESB mapear a qualidade do ar no estado de São Paulo é o índice de qualidade do ar (IQAr), que foi criado para facilitar a forma em que a qualidade do ar é analisada e divulgada, de forma que qualquer pessoa que for fazer análise destes dados, seja capaz de entender. No Quadro 1, observa-se uma tabela que apresenta a classificação de cada intervalo do IQAr. Com as medições realizadas, são calculados índices, que são combinados com a concentração e formam uma função linear segmentada, sendo que esse índice é um valor adimensional (CETESB, 2017).

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	Fumaça (µg/m ³) 24h	Significado
N1 - BOA	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 50	
N2 - MODERADA	41-80	>50 - 100	>25 - 50	>50 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 - RUIM	81-120	>100 - 150	>50 - 75	>100 - 150	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas dos grupos sensíveis citados anteriormente, podem apresentara efeitos mais sérios.
N4 - MUITO RUIM	121-200	>150 - 250	>75 - 125	>150 - 250	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais serios em grupos sensíveis.
N5 - PESSIMA	>200	>250	>125	>250	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento da morte prematura em pessoas de grupos sensíveis.

Quadro 1 – Índice de Qualidade do Ar pela CETESB

Fonte: Adaptado de CETESB, 2017

No estado do Paraná, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) é quem faz este papel. Apesar de ter programas para redução de emissões, como os Programas de Inspeção Veicular e a Resolução SEMA 041/2002 que estabelece alguns padrões de emissão, não possui um controle para o MP_{2,5} ainda (IAP, 2002).

No presente trabalho, o poluente estudado foi o material particulado, mais especificamente, as partículas respiráveis (MP_{2,5}), já que é um dos que mais causam danos à saúde humana.

3.2. MATERIAL PARTICULADO

O material particulado é considerado um poluente atmosférico que se

apresenta como, uma mistura de vários outros componentes com características químicas e físicas diversas. Entre seus componentes podem estar todo tipo de poeiras e fumaças, assim como todo tipo de material sólido e líquido (CONAMA, 2014).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), ele é classificado de acordo com seu diâmetro aerodinâmico, pois existe uma relação entre o seu diâmetro e sua possível entrada no sistema respiratório. Quanto menor for a partícula maior o dano que pode causar à saúde.

Duas principais faixas de diâmetro consistem no material particulado de diâmetro aerodinâmico menor ou igual a $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) e o MP_{10} , que compreende as partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a $10\ \mu\text{m}$. Na Figura 1, observa-se quão pequenas são as partículas poluentes ($\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10}), comparando com um fio de cabelo e um grão de areia (POLEZER, 2015).

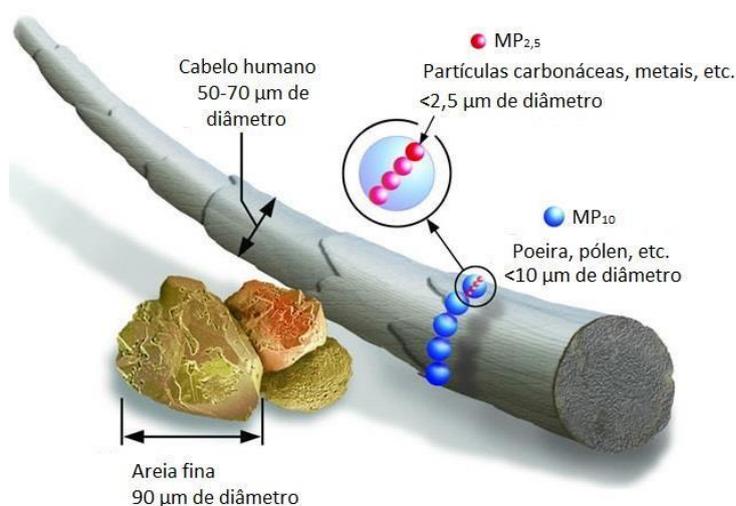


Figura 1 - Comparação entre grãos de areia, fio de cabelo e MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$
Fonte: Traduzido de U.S. EPA (2016).

Para o material particulado, considerando-se partículas inaláveis ou partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a $10\ \mu\text{m}$ (MP_{10}), a Resolução CONAMA n.º 003 de 28 de junho de 1990, define o padrão primário em uma concentração média anual de $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar e, o padrão secundário refere-se à concentração média de um dia (24 horas), que é de no máximo $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, que não deve ser excedida por mais de uma vez por ano. Já a média diária recomendada pela OMS (2005) é de $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ e do $\text{MP}_{2,5}$ é de $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Na resolução n.º 491 (2018), o CONAMA delimita uma faixa limite desse poluente, o padrão primário, que entrou em vigor a pouco tempo é de $60\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, o

secundário é de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o terciário de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o final alinha-se ao da OMS de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, porém não prevê um prazo rígido para a mudança para cada uma das fases citadas. O IAP ainda está exercendo os padrões estabelecidos pela SEMA 041/2002 e ainda não mudou para alinhar-se a nova resolução do CONAMA.

3.2.1. Fontes de Material Particulado

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2018), o material particulado é um aglomerado de vários compostos, que se encontram em diferentes estados. A variação de composição ocorre principalmente por ser emitido por diferentes tipos de fontes.

A Agência de Proteção Ambiental Americana (U.S.EPA – do inglês *United State Environmental Protection Agency*, 2016) afirma que as fontes podem ser as mais diversas, e mudam durante o tempo, já que o mundo está em constante mudança e novas tecnologias surgem todos os dias. Algumas das fontes podem ser veiculares (combustão), atividade industrial, tráfego intenso de veículos, entre outros. Além disso, as fontes podem ser classificadas como estacionárias ou móveis e permanentes ou pontuais.

Um exemplo de fontes estacionárias são as indústrias, que sempre vão estar fixadas em determinado local, pode-se também as classificar como permanentes, pois a produção é “constante”. Os automóveis podem ser considerados fontes móveis e também permanentes, pois estão em constante movimento e apesar de haver variações durante o tempo, existe uma constância na emissão. Já uma queimada, por exemplo, é considerada uma fonte pontual, já que é um evento casual e não contínuo (U.S.EPA, 2016).

Cardoso (1999), através do seu estudo em São Paulo, concluiu que as principais fontes de emissão do material particulado são veiculares (em média de 26%) e queima de óleo combustível nas indústrias, correspondendo a aproximadamente 19,5%. Também foi identificada a presença de sulfatos (cerca de 20%), que também podem ter sido emitidos por indústrias, 27,5% desse poluente foi identificado pela ressuspensão do solo e por fim, 5,5% foi identificado como emissões de metais pesados, que também pode ter ocorrido nas indústrias.

3.2.2. Impactos Ambientais na Saúde

Valavandis (2014), com um estudo realizado em Atenas, reuniu várias

informações da literatura e notou forte relação da exposição ao material particulado e algumas doenças cardiovasculares e pulmonares na população, em alguns casos a longo prazo, e em outros, em um curto período após a exposição.

Vários outros autores citam os danos à saúde humana causados pelo $MP_{2,5}$, como Canova (2012), que diz que as doenças respiratórias crônicas são agravadas quando o indivíduo é exposto ao $MP_{2,5}$. Langrish (2012), discorre sobre o aumento da probabilidade de doenças cardiovasculares, principalmente em pessoas com doenças coronárias. Anderson e Thuniyil (2012) dizem ainda que a exposição a esse material pode levar a sérios danos cerebrais. Outros autores como Nascimento (2016) em Volta Redonda, no Rio de Janeiro; Polezer (2017) em Curitiba, no Paraná; Machin (2018) em Cuiabá, no Mato Grosso, também confirmam a forte relação.

Tudo isso ocorre, pois, o $MP_{2,5}$ é muito pequeno, como observa-se na Figura 3, e entra facilmente no sistema respiratório, podendo avançar mais adiante no sistema respiratório humano, diferente do MP_{10} que fica retido no sistema respiratório superior. O $MP_{2,5}$ pode alojar-se nos alvéolos pulmonares, órgão responsável pelas trocas gasosas com o sistema cardiovascular, e a partir do sangue, podem chegar ao sistema nervoso. E como consequência, pode gerar reações inflamatórias. Na Figura 2, observa-se com clareza os locais do sistema respiratório onde o material pode atingir (GUARIEIRO *et al.*, 2013).

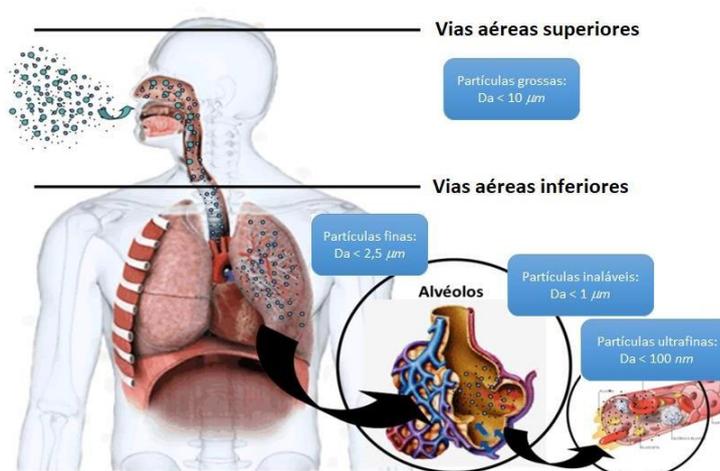


Figura 2 - Ilustração de como ocorre a contaminação por $MP_{2,5}$

Fonte: Traduzida de Guarieiro e Guarieiro (2013).

3.3. ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS

Segundo Lima-Costa (2003), epidemiologia está relacionada à relação de distribuição e fatores que determinam se uma pessoa de região tem tendência de ter ou não uma doença específica. O estudo da distribuição está relacionado às variáveis que vão ser consideradas, como tempo, local e características dos indivíduos e o de determinantes é relacionado aos fatores físicos, biológicos, sociais e comportamentais que vão gerar reflexos na saúde.

Para o estudo do impacto da poluição atmosférica na saúde humana, frequentemente, são utilizados modelos de regressão estatística. Para fazer a escolha do modelo a ser utilizado, segundo Tadano (2012), algumas das variáveis que devem ser consideradas no estudo são dados do impacto causado na saúde, o tipo de exposição e a natureza da resposta.

Entre os tipos de estudos epidemiológicos existentes, pode-se destacar que os mais utilizados para poluição do ar consistem nos estudos de coorte, estudos de painéis e estudos de séries temporais.

Os estudos de coorte consideram a exposição de longa data com os impactos causados pela poluição atmosférica na saúde e consiste em realizar entrevistas e o acompanhamento de um grupo de pessoas (amostra da população), identificando seus hábitos e os relacionando com a poluição atmosférica e a saúde, portanto requer anos de estudo, o que muitas vezes se torna inviável (DOMINICI, 2003).

Outro tipo de estudo epidemiológico que pode ser aplicado é o estudo de painéis, o qual seleciona um grupo de indivíduos e analisa a exposição de cada um. É um estudo bastante efetivo, analisando os efeitos de curto prazo que a poluição causa, entretanto consiste em um estudo exaustivo, que requer muito tempo de estudo e um grupo de pesquisa intensivo (DOMINICI, 2003).

Por fim, o estudo de séries temporais, que é o mais utilizado, pois os dados são obtidos sem a necessidade de acompanhamento de uma amostra da população ou realização de entrevistas, sendo muito mais simples e rápido. Entretanto, não é possível considerar características específicas de cada indivíduo como hábitos alimentares, locais de exposição ou ainda se o indivíduo é ou não fumante, fatores que podem acarretar um impacto à saúde diferenciado. Apesar da simplificação, esse modelo é bastante efetivo para encontrar a relação entre uma

variável e outra, no caso, uma relação entre concentração do poluente $MP_{2,5}$ com dados de saúde, como por exemplo o número de internações diárias por doenças respiratórias ou circulatórias (TADANO *et al.*, 2012).

3.4. ESTUDOS REALIZADOS NO BRASIL E NO MUNDO

O material particulado vem gerando bastante preocupação no cenário mundial, muitos países têm estudado esse poluente que pode causar tanto danos ao meio ambiente quanto à saúde humana.

Laden (2000) realizou um estudo em seis cidades dos Estados Unidos, *Watertown – Boston, St. Louis, Kingston-Harriman – Knoxville, Portage – Madison, Steubenville e Topeka*, considerando o período de 1979 até o final dos anos 80, com exceção de janeiro de 1981 a janeiro de 1984. Usando regressão de Poisson, com modelo aditivo generalizado, com os dados de concentração de $MP_{2,5}$, mortalidade na população e dados meteorológicos, como temperatura e precipitação, observou-se que, se houver um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do poluente, haverá um aumento de 3,4% na mortalidade da população. Além disso, o autor identificou que a principal fonte de emissão, era de automóveis.

Em Taiwan, Hwang (2012), observou a grande relação entre as concentrações altas de $MP_{2,5}$ e o número de hospitalizações por algumas doenças respiratórias, mais especificamente a doença pulmonar obstrutiva crônica com exacerbação aguda (AECOPD), a doença pulmonar obstrutiva crônica (COPD), Asma e Pneumonia. O método utilizado foi também o Modelo Aditivo Generalizado (MAG) com regressão de Poisson, considerando até 5 dias de *lag* (consideração feita para dias de defasagem, pois o indivíduo pode não apresentar consequências no dia da exposição, e sim, nos dias posteriores). Comparando com dados meteorológicos, concluiu-se que as grandes concentrações podem ter sido geradas pelo grau de urbanização da cidade, e as fontes de emissões são bastante diversificadas.

Liu e Peng (2018), fazendo um estudo em 85 condados dos Estados Unidos de 1999 a 2010, comparando várias misturas com diferentes concentrações de $MP_{2,5}$, O_3 e NO_2 , através de um método chamado PANCAKE, que faz a combinação de várias composições de misturas dos poluentes citados, com dados de doenças

cardiovasculares em pacientes que eram internados. Os autores verificaram que a mistura com pouca quantidade de alguns poluentes e altos níveis de outros podem ser muito mais prejudiciais para a saúde do que uma mistura com altos níveis de todos os poluentes e percebeu-se que o método PANCAKE é muito efetivo nesse tipo de estudo, pois conseguiu-se observar a complexidade de relacionar os poluentes com a saúde humana, já que até diferenças na composição de cada poluente geram maior impacto.

No Brasil, estão sendo realizados estudos em diferentes regiões, como Nardocci (2013) fez um estudo em Cubatão, São Paulo, e afirma que o material particulado afeta principalmente crianças (menores de 5 anos) e adultos (maiores de 39 anos). O autor também observou que há uma ligação entre as variáveis meteorológicas, sendo a sazonalidade uma das mais expressivas, juntamente com a exposição ao $MP_{2,5}$ e a geração de doenças respiratórias e cardiovasculares.

Em Vitória (ES), Nascimento (2015) observou que crianças de 0 a 2 anos têm maior número de internações por motivos respiratórias, já que têm maior sensibilidade, no epitélio e no músculo, ao $MP_{2,5}$. Porém, o estudo teve dados limitados para fazer uma análise mais detalhada a respeito. O método utilizado foi o de regressão de Poisson por modelos aditivos generalizados considerando os dados de internações de crianças na faixa etária indicada, dados de concentração do poluente $MP_{2,5}$ e variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade do ar.

Também em Cuiabá (MT), Rodrigues (2016), em seu estudo, observou-se que o $MP_{2,5}$ tem seu índice de morbimortalidade potencializado por calor, baixa umidade ou ainda em estações mais secas, principalmente em adultos com 45 anos ou mais. O estudo foi realizado com dados de concentração do poluente, assim como dados de mortalidade e registros de internação devido a doenças cardiovasculares e ainda variáveis meteorológicas, como sazonalidade temperatura e umidade. O método para análise dos dados foi o de regressão de Poisson com modelos aditivos generalizados. O autor também reforça que a baixa umidade, o calor e a estação seca podem potencializar os efeitos do material particulado.

Um estudo realizado em Volta Redonda, Rio de Janeiro, por Nascimento (2016), também analisando $MP_{2,5}$ com relação à internações por algumas doenças respiratórias (pneumonia, bronquite aguda, bronquiolite e asma) e dados

meteorológicos, define uma redução de custos de até R\$ 84mil/ano, caso sejam diminuídos apenas $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{MP}_{2,5}$ emitida assim reduzindo até 76 casos de internações. O período da análise foi de janeiro a dezembro de 2012, também utilizando o modelo aditivo generalizado com regressão de Poisson.

Polezer (2017) analisou dados de $\text{MP}_{2,5}$ de Curitiba, de 2008 a 2011 e avaliou o impacto de variáveis meteorológicas, como umidade e temperatura, e de $\text{MP}_{2,5}$ no número de internações por doenças respiratórias. Para tanto, foram utilizadas redes neurais artificiais. O método usado teve bons resultados mostrando forte relação entre as variáveis e concluiu-se que as redes neurais são bastante eficazes para esse tipo de análise, podendo superar o desempenho de regressões estatísticas.

No Mato Grosso, também em Cuiabá, Machin (2017), realizou-se estudo do impacto da poluição atmosférica na saúde e utilizou o modelo aditivo generalizado da regressão de Poisson para a análise. Apenas crianças de até 10 anos foram selecionadas na coleta de dados de internação, assim como apenas algumas doenças respiratórias, sendo estas: traqueíte, laringite, pneumonia, bronquite, bronquiolite. Notou-se a exposição ao material como um grande custo gerado para o Sistema Único de Saúde (SUS) devido à relação bastante forte entre os dados, concluindo-se assim, que o aumento da concentração do $\text{MP}_{2,5}$ geraria um aumento no número de doenças respiratórias em crianças.

Em seu estudo, Andreão (2019) afirma que no Brasil poucas cidades tem monitoramento do $\text{MP}_{2,5}$ e este poluente é um grande causador de mortes por doenças cardiovasculares e respiratórias, além de câncer no pulmão e isquemia cardíaca. E comenta e grande redução no número de mortes por esse tipo de doenças se as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) fossem seguidas corretamente, seguindo a média anual de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho está dividida em duas partes: amostragem e análise dos impactos da poluição na saúde.

4.1. LOCAL DA AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada nas dependências da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada na região central de Ponta Grossa. O local foi escolhido devido à proximidade de uma das vias mais movimentadas da cidade, a Avenida Balduino Taques, sendo assim uma amostragem representativa quando consideramos que a maior parte da população passa por essa via durante o dia, além do tráfego intenso. Outros fatores que influenciaram na escolha do local de amostragem foram o fácil acesso, presença de energia elétrica, a segurança e ter um espaço aberto suficiente para instalação do equipamento. Na Figura 3 observa-se uma vista pelo Google Maps (2016) da região em torno do local de amostragem, que está identificado pelo ponteiro vermelho.

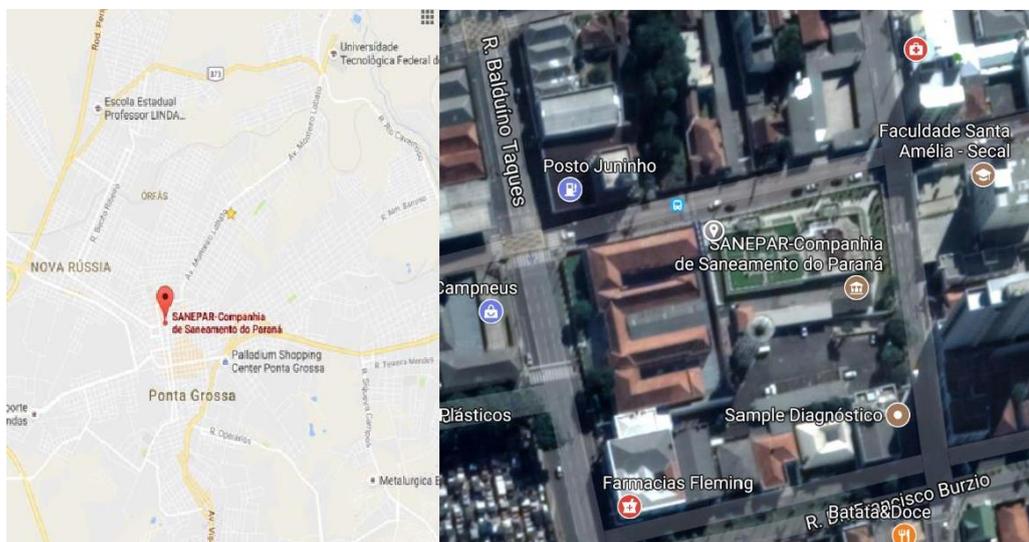


Figura 3 - Local da amostragem via satélite e seu entorno.
Fonte: Google Maps, 2016.

No local citado, o impactador *Harvard*, equipamento utilizado na amostragem e adquirido através do Projeto de Pesquisa da Chamada MCTI/CNPq/Universal 14/2014 intitulado “Análise Integrada da Poluição Atmosférica – Avaliação dos Riscos à Saúde Humana” sob coordenação da Profa. Dra. Yara de Souza Tadano. O equipamento ficou protegido por uma gaiola de proteção, e a bomba à vácuo foi instalada dentro de uma caixa metálica, o que impedia a entrada de água que podia

gerar danos à bomba. Na Figura 4 tem-se imagens do local.



Figura 4 - Imagens da SANEPAR, onde está instalado o equipamento para realização da amostragem.
Fonte: Nishida, 2016.

Adicionou-se apenas um ponto de amostragem devido à falta de mão de obra para fazer a troca dos filtros, causada pela dificuldade de fazer a troca do filtro diariamente de forma manual em pontos distantes na cidade. Além disso, o custo do impactador também influenciou nesta decisão.

4.2. AMOSTRAGEM DO $MP_{2,5}$

A amostragem foi feita diariamente, durante 24 horas contínuas, desde 01/10/2016 até 30/04/2018. De forma geral, todos os dias era necessário locomover-se até o local e realizar a troca do filtro no equipamento, anotando os dados necessários, como horário de troca, o valor que o horímetro da bomba estava marcando, a identificação do filtro e qualquer observação ou inconformidade encontrada.

Na amostragem do $MP_{2,5}$, utilizou-se o impactador *Harvard* (Figura 5), Seu funcionamento ocorre da seguinte forma: o ar entra por cima do equipamento (Figura 5a) e é acelerado até chegar em um disco poroso (Figura 5b). Partículas maiores que $2,5\mu\text{m}$ de diâmetro aerodinâmico ficam presas no disco poroso devido à uma fina camada de óleo mineral colocada intencionalmente sobre o disco. As partículas finas ficam então, depositadas ao fundo do equipamento, como observa-se na Figura 5c (NISHIDA, 2017).

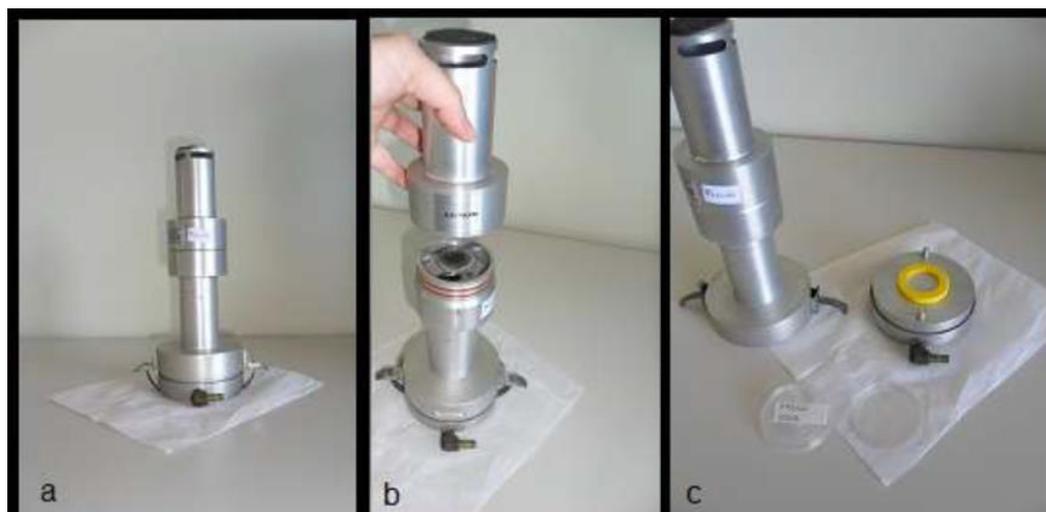


Figura 5 – Impactador *Harvard*
Fonte: POLEZER, 2016.

Esse equipamento foi desenvolvido na Escola de Saúde Pública de *Harvard*, e para o seu funcionamento, precisa ser conectado à uma bomba à vácuo, Figura 6, a qual foi configurada com uma vazão de 10 L/min, vazão ideal para amostragem do material particulado fino (POLEZER, 2015). A bomba serve para fazer com que o ar passe pelo impactador, ou seja, ela cria um vácuo onde o ar irá passar preferencialmente por dentro do equipamento.



Figura 6 – Bomba à vácuo, utilizada na amostragem.
Fonte: Nishida, 2017.

Os filtros para a coleta do material particulado utilizado foi o Nucleopore®, feito de policarbonato, da marca *GE Healthcare*. Escolheu-se este material por ser inerte e livre de quaisquer substâncias que possam interferir na análise (NISHIDA, 2017). Armazenou-se os filtros antes e depois da amostragem em pequenas placas

de petri, de forma individual, sem contato com a atmosfera.

4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

A análise gravimétrica do $MP_{2,5}$ foi feita pesando os filtros antes e após a amostragem, de forma que possa ser obtida a concentração mássica do material particulado precipitado. A pesagem foi feita em uma micro-balança analítica, que tem precisão de $0,1\mu g$ da marca Sartorius (Modelo: MSA2.7S-000-DF) (Figura 7), que pertence ao Laboratório de Análise e Qualidade do Ar (*LabAir*) localizado na Universidade Federal do Paraná em Curitiba, no Paraná. A eletrostática dos filtros foi removida com auxílio de uma caneta que faz esse processo. As pesagens foram realizadas em triplicata para maior confiabilidade dos dados. A Figura 7 observa-se os equipamentos citados.



Figura 7 - Microbalança analítica e caneta eliminadora de eletrostática

Fonte: Polezer, 2015

Devido à extrema sensibilidade da balança, o ambiente onde foi realizada a pesagem deve ter temperatura mantida a $20^{\circ}C$, e a umidade mantida em torno de 50% com auxílio de umidificador ou desumidificador e condicionador de ar. A fim de evitar que os parâmetros da atmosfera do ambiente alterem na pesagem, os filtros foram deixados em um dessecador nas mesmas condições da sala, por pelo menos 24 horas antes das pesagens, para não haver contaminações. A equação (1) foi utilizada para chegar-se na concentração do material amostrado.

$$MP_{2,5} (\mu g m^{-3}) = \frac{\text{Massa depositada } (\mu g) \times 1000}{\text{Vazão bomba } (10 \text{ L min}^{-1}) \times \text{Período de Coleta } (min)} \quad (1)$$

4.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA POLUIÇÃO NA SAÚDE

Para avaliar o impacto do $MP_{2,5}$ na saúde da população de Ponta Grossa, além dos dados das concentrações diárias de $MP_{2,5}$ amostradas, foi necessário obter dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, entre outros) e de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares diários.

Os dados meteorológicos foram obtidos com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), enquanto os dados de internação, pelo site do DATASUS, que se referem aos dados do Sistema Único de Saúde (SUS). Apenas o sistema público foi utilizado, já que não se consegue acesso à dados do sistema de saúde privado.

A primeira etapa consistiu na organização dos dados e na análise estatística descritiva, a qual se refere ao cálculo do valor máximo, mínimo, média aritmética, desvio padrão e correlação de Pearson, no intuito de identificar as principais características do banco de dados utilizado. Depois, pode-se aplicar o modelo de regressão. Estas análises estatísticas foram realizadas com o uso do *software* estatístico, chamado R versão 3.5.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018), que também foi utilizado por ARDILES (2016) para avaliar o impacto da poluição atmosférica na saúde populacional da cidade de Curitiba.

O estudo foi feito com o objetivo de encontrar um modelo que descreva a relação entre uma variável dependente ou resposta (Y) (internações) e variáveis independentes ou explicativas (X's) (meteorológicas e de poluição) (ARDILES, 2016). O modelo com maior sensibilidade para detectar o quanto os poluentes influenciam no número de internamentos por doenças respiratórias é o Modelo Linear Generalizado (MLG), já que permite a variável resposta tenha uma maior distribuição (LAZZARI, 2013). Podem ser utilizadas ainda a distribuição Normal ou a de Poisson. Porém, utiliza-se mais a de Poisson, pois o evento geralmente é de contagem e a distribuição Normal acaba não representando os dados como um todo (ARDILES, 2016).

Existem algumas preocupações na hora da aplicação do método estatístico, por isso devem ser feitos alguns ajustes temporais. Um dos ajustes é a correção da sazonalidade com auxílio do *spline* cúbico, que realiza a suavização da curva, pois o número de pessoas acometidas com uma doença respiratória aumenta consideravelmente durante o inverno, por exemplo, já que as pessoas ficam mais

expostas à algumas patologias. Outro fator de confusão são os dias da semana e feriados, pois, muitas vezes, o cidadão exposto ao poluente vai apresentar sintomas, porém por ser fim de semana ou feriado, só procura auxílio hospitalar no próximo dia útil (TADANO, 2012). Considerou-se o número “1” para domingo e continuou-se a contagem até sábado para consideração no modelo, e para feriado utilizou-se “1” para feriados e “0” para não-feriados. Desta forma, a relação entre a variável resposta e as variáveis explicativas será dada por:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_{pi} + \beta_2 x_{met} + \beta_3 x_{dias} + \beta_4 x_{diasem} + \beta_5 x_{fer} \quad (2)$$

onde tem-se x_{pi} , variável poluente, x_{met} , variável meteorológica, x_{dias} , referindo-se aos dias, x_{diasem} , dias da semana e x_{fer} como feriado, sendo todas essas variáveis explicativas. O modelo de regressão tem como objetivo determinar os parâmetros β_i para que se possa ter um perfil para a variável explicativa η , que indicará os impactos da poluição na saúde. Mais detalhes sobre o método encontram-se no Apêndice A (ARDILES, 2016).

Para seleção do modelo de regressão, realiza-se uma análise gráfica normal das probabilidades utilizando a função “*hnp*” do *software* R, correspondente ao pacote “*half normal plot*”. A escolha é feita de acordo com a análise dos pontos gerados, segundo Cordeiro e Demétrio (2010), observa-se os pontos gerados por resíduos (*leverage*) do modelo que “devem ficar dentro ou o mais próximo possível do envelope de simulação”.

Para a avaliação do modelo estatístico utiliza-se também o Critério de Informação de Akaike (AIC), cujo objetivo é estimar K-L (Kullback e Leibler), que representa a distância entre o modelo utilizado e o modelo que mais se adequa aos dados (ARDILES, 2016).

Outro artifício utilizado são os *lags*, já que o cidadão que foi exposto ao poluente no dia x , pode apresentar os sintomas apenas no dia x_i , sendo o $i = 1, 2, \dots, 7$ (TADANO, 2012). Portanto, nesse estudo será considerado *lags* de 1 dia até 7 dias depois da exposição para concentração de $MP_{2,5}$, já que após 7 dias de lag o dado será contaminado por outra exposição, e *lags* de 1 a 3 dias para temperatura média e umidade relativa.

4.5. RISCO RELATIVO

O risco relativo, *odds ratio* ou ainda razão de chances, corresponde à razão

entre a probabilidade do risco de adoecimento entre os grupos de expostos e não expostos relacionado ao fator de risco estudado (ALVARENGA, 2013). Ou seja, esse modelo busca encontrar um modelo que melhor se relacione com os dados de entrada (TADANO, 2007).

Portanto, o risco se dá pela associação entre exposição ao fator de risco X (no atual estudo corresponde às variáveis meteorológicas e à concentração do poluente atmosférico MP_{2,5}) e o risco do resultado Y (no estudo, corresponde ao número de internações por doenças respiratórias ou cardiovasculares na região de análise) (ARDILES, 2016). Então, define-se o risco relativo como a equação (3) descrita abaixo.

$$RR(x) = \frac{E(Y|X)}{E(Y|X=0)} \quad (3)$$

em que E(Y|X) corresponde à esperança da variável explicativa, para determinada concentração X do poluente em questão.

Utilizando o modelo de regressão Binomial Negativo, têm-se o risco relativo a seguir na equação (4) (COELHO E MASSAD, 2012).

$$RR = e^{\beta_i} \quad (4)$$

em que β_i se apresenta como coeficiente de regressão obtido na aplicação do modelo de regressão binomial negativo.

Desta forma, o risco relativo pode ser interpretado da seguinte forma (ARDILES, 2016):

- RR<1: o fator de associação é bem pequeno, portanto, indica ação protetora e não apresenta riscos à saúde;
- RR=1: aponta que não existe nenhuma relação entre os dados analisados;
- RR>1: indica que há riscos no fator estudado.

Portanto, utilizando um cenário em que o risco relativo é calculado considerando doenças respiratórias como impacto e a exposição à concentração de MP_{2,5} obtendo um valor igual a três, isso indica que, uma pessoa exposta à poluição tem três vezes mais chance de adquirir alguma doença respiratória do que uma pessoa que não foi exposta ao poluente em questão.

4.6. VALORAÇÃO DE IMPACTOS NA SAÚDE

Entre as metodologias utilizadas no cálculo da valoração dos impactos na saúde devido à poluição atmosférica, a mais utilizada consiste no cálculo dos anos de vida ajustados por incapacidade (DALY, do inglês *Disability Adjusted Life Years*).

O DALY é um parâmetro utilizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para comparar o estado de saúde atual de uma população com um estado de saúde ideal (OMS, 2003). Ele é calculado pela soma de outros dois parâmetros: anos perdidos em função da incapacidade (YLD, do inglês *Years of Life Lost due to Disability*) e anos de vida perdidos devido à morte prematura (YLL, do inglês *Years of Life Lost*). Um DALY corresponde a um ano em saúde perfeita perdido.

No Brasil, os dados de morbidade não são muito precisos, já que consideram apenas os dias nos quais uma pessoa permanece hospitalizada, e não levam em conta outros fatores, como perda de produtividade e dias de trabalho perdidos, que também são causados pela doença (MIRAGLIA *et al.*, 2005). Uma alternativa para solucionar esse problema é calcular o YLD a partir da multiplicação do "peso da doença" D (do inglês *disability weight*) pela prevalência da doença P, ($YLD = P \times D$).

Alguns estudos apenas introduzem a ideia do cálculo do DALY, sem aplicá-lo para uma situação específica, como é o caso dos estudos de Devleeschauwer *et al.* (2014). Já Pennington *et al.* (2002) utilizaram esse método para medir o efeito dos compostos cancerígenos para Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) das emissões de componentes de um produto no ar.

Da Silva *et al.* (2012) e Vormittag *et al.* (2014) utilizaram o DALY para avaliar impactos da poluição do ar na saúde da população de São Paulo, sendo que o primeiro se restringiu apenas à capital e o segundo, a todo o estado de São Paulo.

Nos estudos realizados no Brasil, tomando como base principalmente Aguiar (2015), os dados de expectativa de vida foram obtidos através da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e os dados de saúde foram obtidos a partir do Ministério de Saúde, presentes na base de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), fornecidos pelas Autorizações de Internação Hospitalar (AIH) do Sistema Único de Saúde (SUS). Porém, as informações obtidas nessa base de dados não fornecem as internações diretamente relacionadas à poluição do ar.

O ideal seria calcular o valor gasto com saúde devido à poluição utilizando a

metodologia DALY, proposta por Murray e Lopez (1996). Entretanto, conforme observado, os dados de saúde disponíveis nas bases de dados brasileiras não são precisos e dificultam o uso desta metodologia. Além disso, estes dados não refletem informações de morbidade diretamente relacionadas à poluição do ar.

Para sanar este problema, Nagpure *et al.* (2014) propõe uma alternativa, já que geralmente, os estudos epidemiológicos apresentam os resultados em termos da métrica de risco relativo.

Calcula-se a proporção de risco atribuível (PRA), que indica a parcela de uma doença que pode ser atribuída à exposição de determinado poluente, que pode ser calculada pela equação (5) (NAGPURE *et al.*, 2014):

$$PRA = \frac{\sum [RR(c) - 1] p(c)}{\sum [RR(c) p(c)]} \quad (5)$$

em que: $RR(c)$ é a mudança de risco relativo à saúde, na categoria de exposição c e; $p(c)$ é a proporção da população exposta ao poluente c .

Então, o $RR(c)$ é obtido através da equação (6) (NAGPURE *et al.*, 2014):

$$RR(c) = \frac{(C - P)}{10} (RR - 1) + 1 \quad (6)$$

em que: C é a concentração de um determinado poluente; P é o padrão de qualidade do ar para o poluente ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o $\text{MP}_{2,5}$, de acordo com a OMS) e; RR é o risco relativo para certos efeitos adversos à saúde que estão associados à categoria c de exposição, obtido de estudos epidemiológicos.

Calculado o RR atribuído à determinada concentração de poluente, é necessário converter este valor para número aproximado de internações. Para tanto, segue-se o seguinte procedimento proposto por Nagpure *et al.*, 2014. Calcula-se a taxa da população exposta ao poluente pela equação (7) descrita abaixo.

$$IE = I * PRA \quad (7)$$

em que: I é a frequência do efeito na população (frequência na ocorrência de internações expressas por 100.000 habitantes e PRA é a proporção de risco atribuído à população.

Em seguida, obtém-se a frequência de ocorrência do efeito na população livre de exposição à poluição (INE) pela equação (8).

$$INE = 1 - IE = I * (1 - PRA) \quad (8)$$

Com isso, pode-se calcular a quantidade de internações que ocorreram devido à exposição ao poluente estudado (no caso $MP_{2,5}$) em um ano. Este cálculo é feito por meio do excesso de incidência $[\Delta I(c)]$ e o excesso de número de casos $[\Delta N(c)]$, seguindo as equações (9) e (10).

$$\Delta I(c) = (RR(c) - 1) * p(c) * INE \quad (9)$$

$$\Delta N(c) = \Delta I(c) * N \quad (10)$$

O modelo calcula o número de internações em excesso, ou seja, o número de internações que ocorreram devido à concentração de $MP_{2,5}$ acima do padrão. Portanto, indica o número de internações que poderiam ser evitadas se o padrão de qualidade do ar não for excedido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, levantou-se todos os dados necessários para a análise, o $MP_{2,5}$ foi amostrado diariamente e pesado em triplicata. A análise dos resultados foi feita em etapas, primeiramente procurou-se fazer uma análise descritiva dos dados, para depois ser aplicado o modelo linear generalizado e calculado o risco. As variáveis analisadas e levadas em conta no estudo foram os dados de concentração do $MP_{2,5}$ obtidos, os dados meteorológicos (temperatura média, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento média, precipitação e pressão) e os dados de internação por doenças respiratórias e cardiovasculares.

5.1. ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

O $MP_{2,5}$ foi amostrado durante o período de 1 de outubro de 2016 até 30 de abril de 2018. Os dados meteorológicos, incluindo temperatura média, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento média, precipitação e pressão, foram fornecidos por contato direto com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Os dados de hospitalizações diários foram obtidos através do DATASUS, em que foram consideradas doenças respiratórias e circulatórias, o período dos dados analisados segue o período de amostragem do $MP_{2,5}$.

Depois de calculada a concentração diária de material particulado, foi calculada a média mensal, desvio padrão, número de amostras por mês, em que os valores máximo e mínimo encontram-se na Tabela 1. Observa-se um alto desvio padrão para $MP_{2,5}$ ocorreu provavelmente devido às altas concentrações nos dois primeiros meses de amostragem, discrepantes do restante das amostragens. Uma das possíveis razões destas altas concentrações pode ser o processo de adaptação do local de amostragem, já que foi necessário retirar a grama do local, para enterrar o tubo de passagem do ar da bomba até o impactador, para evitar danificação. Este fato também justifica o valor máximo que teve ocorrência nos primeiros meses de amostragem. Os dados discrepantes não foram retirados na análise pois restariam poucos dados e o estudo necessita de pelo menos dois anos de dados para ter significância.

A média de $MP_{2,5}$ de todos os dias amostrados foi de $10,57\mu\text{g}/\text{m}^3$, portanto abaixo do limite de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2006). A medição foi realizada de forma contínua e diária durante o período

citado, e tiveram poucos dias que ficaram sem medição, sendo que os meses com maior *gap* foram maio de 2017 que ficou com cerca de 20% dos dias não amostrados, e janeiro de 2018 com 36%

Tabela 1 - Média, desvio padrão, número de dias amostrados, máximo e mínimo mensal da amostragem do MP_{2,5}

Mês	Média	Desvio Padrão	N	Máx.	Min.
out/16	18,86	12,52	31	64,09	8,44
nov/16	25,28	19,58	29	79,16	6,10
dez/16	13,53	5,72	27	24,83	1,32
jan/17	14,96	7,05	23	34,59	8,26
fev/17	12,56	4,18	28	27,54	5,89
mar/17	7,65	1,76	31	11,98	5,16
abr/17	7,05	2,42	29	15,35	3,29
mai/17	7,77	2,34	25	14,51	3,43
jun/17	6,72	3,23	27	13,43	1,36
jul/17	11,65	6,07	31	37,06	4,20
ago/17	11,16	6,28	31	27,13	3,59
set/17	17,68	9,13	29	46,86	1,23
out/17	6,91	4,84	31	27,45	1,94
nov/17	5,81	2,82	30	12,74	1,83
dez/17	5,83	2,82	30	12,98	2,14
jan/18	7,21	5,29	22	29,52	2,92
fev/18	5,81	3,86	27	17,26	0,93
mar/18	5,95	2,36	30	9,75	2,03

Fonte: Autoria Própria, 2019

Calculou-se a média, o desvio padrão, o máximo e o mínimo de todos os dados para as variáveis meteorológicas como observa-se na Tabela 2. Verifica-se que Ponta Grossa tem temperaturas bastante amenas se olharmos para a média dos dados, já a umidade relativa é bastante elevada.

Tabela 2 - Análise descritiva dos dados para o período de 01/10/2016 até 30/04/2018

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
MP _{2,5} (µg/m ³)	10,57	8,83	0,93	79,16
Precipitação (mm)	4,63	11,06	0	84,8
Temperatura Média (°C)	18,97	3,24	4,46	25,41
Umidade Relativa (%)	78,05	8,32	48,39	96,45
Pressão (Pa)	915,71	3,74	906,58	927,55
Radiação Solar (W/m ²)	881,51	239,39	176,7	1357
Velocidade do Vento Média (m/s)	3,13	1,16	0,84	7,87

Fonte: Autoria Própria, 2019

Comparando o valor médio (10,57µg/m³) com outras cidades brasileiras, observou-se Curitiba/PR com 9,48µg/m³ (POLEZER, 2015); Manaus/AM com uma

média de $8,8\mu\text{g}/\text{m}^3$ em estação chuvosa e $11,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação seca (BARBOSA, 2014). Comparando com outros países, observou-se $91,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ em Agra na Índia (KULSHRESTHA et al., 2009) e $49\mu\text{g}/\text{m}^3$ em Nova Iorque nos Estados Unidos (QIN et al., 2006). Notou-se que Curitiba, mesmo sendo uma cidade mais urbanizada que Ponta Grossa, teve resultado médio de $\text{MP}_{2,5}$ mais baixo, isso porque no estudo de Polezer (2015) a amostragem foi realizada em lugares mais retirados se comparado à amostragem feita em Ponta Grossa, que foi no centro da cidade, e ainda obteve-se dados discrepantes nos primeiros meses, que podem ter feito a média subir.

Com a média mensal de todas as variáveis, plotou-se o gráfico presente na Figura 8, em que o eixo da esquerda compreende a concentração do $\text{MP}_{2,5}$, temperatura média e precipitação e o da direita, a umidade relativa.

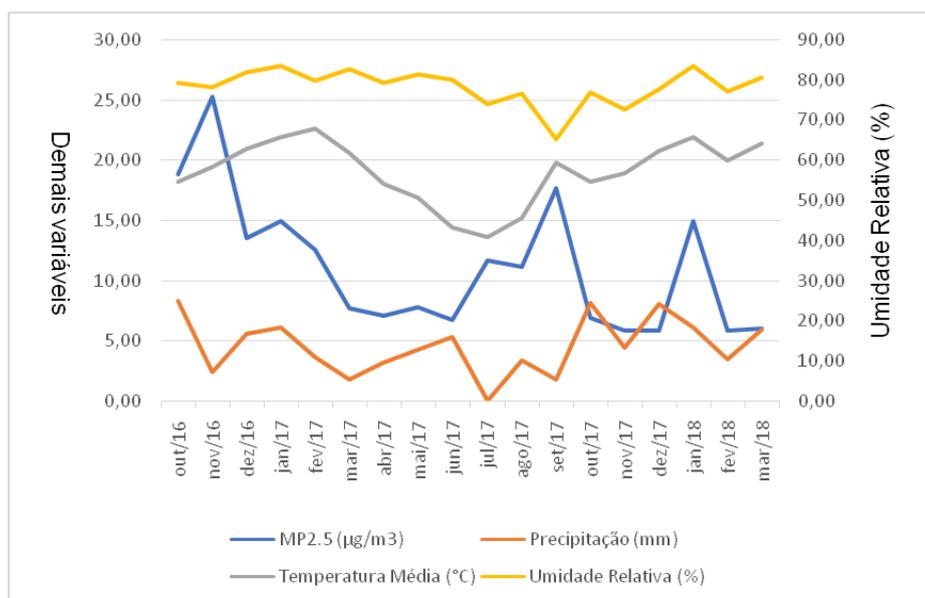


Figura 8 - Médias mensais de $\text{MP}_{2,5}$ e variáveis meteorológicas
Fonte: Autoria Própria, 2019

Na Figura 8 é possível visualizar uma relação no mês de setembro e janeiro entre $\text{MP}_{2,5}$, Umidade Relativa e Precipitação, nota-se um aumento na concentração do material particulado, com uma diminuição na umidade relativa do ar e baixa precipitação.

Para obter um panorama e observar em quais dias foram obtidas concentrações maiores que o limite de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ da OMS, foi plotado o gráfico presente na Figura 9, em que se tem as concentrações durante os 577 dias amostrados e uma linha mostrando o limite da OMS. Os dias que mostram concentração igual a zero, consistem nos dias em que não foi possível realizar a

amostragem, por condições meteorológicas adversas que impossibilitaram a troca de filtros.

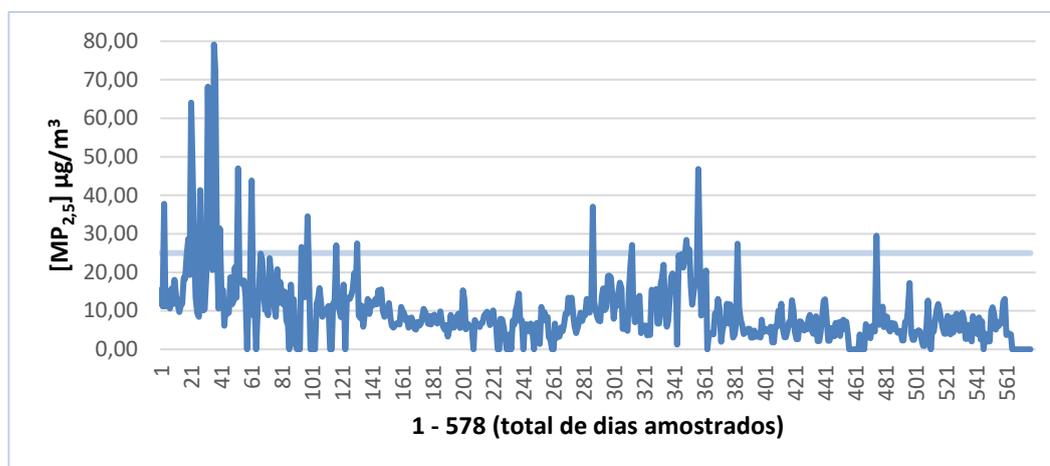


Figura 9 - Média de concentração diária de MP_{2,5} por dia de amostragem

Fonte: Autoria Própria, 2019

Analisando os gráficos, é possível visualizar que tiveram dias que o padrão da OMS de 25 µg/m³ foi excedido. Na Tabela 3 foram apresentados os dias que excederam o limite. Pode-se observar que os meses de outubro e novembro de 2016, tiveram mais dias que excederam o limite, provavelmente por serem os meses iniciais de amostragem, em que o local ainda estava se ajustando às modificações realizadas.

Tabela 3 - Dias, por mês, que excederam o padrão de qualidade do ar da OMS (25 µg/m³)

Mês/Ano	Dias que excederam
out/16	03, 19, 21, 22 e 27
nov/16	01, 02, 03, 05, 06, 07, 09, 21 e 30
jan/17	02, 03, 06 e 25
fev/17	08
ago/17	09
set/17	14, 16 e 22
out/17	18
jan/18	18
dez/16; mar a jul/17; nov a dez/17; fev a abr/18	Nenhum dia

Fonte: Autoria Própria, 2019

Os dados de internação para o período de estudo foram obtidos no site DATASUS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). Foram obtidos dados para doenças respiratórias e cardiovasculares, separadamente, seguindo o Conselho Internacional das doenças (CID-10), portanto as doenças respiratórias consideradas foram J00-J99 e cardiovasculares, I00-I99. Análise descritiva destes dados encontra-se na Tabela 4 em que se observa a média, o desvio padrão, o valor máximo e o mínimo diários, sendo que as internações por doenças

respiratórias são representadas por IDR e as circulatórias por IDC. Observa-se que o número de internações por doenças circulatórias é maior do que por doenças respiratórias.

Tabela 4 - Média, desvio padrão, máximo e mínimo para os dados de saúde.

	IDR	IDC
Média	5,43	9,29
Desvio Padrão	3,05	4,69
Máximo	16	27
Mínimo	0	0
Total	3131	5358

Nota: IDR – Internações por doenças respiratórias;

IDC – Internações por doenças circulatórias.

Fonte: Autoria Própria, 2019

No intuito de encontrar uma relação quantitativa entre as variáveis meteorológicas, a concentração de $MP_{2,5}$ e as internações, calculou-se os coeficientes de correlação de Pearson, contidos na Tabela 5, em que Pr representa a precipitação, T a temperatura média, UR a umidade relativa, P a pressão, RS a radiação solar, VVM a velocidade do vento média, IDR as internações por doenças respiratórias e IDC as internações por doenças circulatórias.

Pela Tabela 5, não é possível observar uma relação linear entre a concentração de $MP_{2,5}$ e variáveis meteorológicas com as internações por doenças respiratórias ou circulatórias, mostrando a importância de se aplicar regressão estatística para identificar quais fatores são relevantes ao impacto na saúde. Pode-se observar que, nenhuma correlação foi estatisticamente significativa. Apesar disto, a correlação de $MP_{2,5}$ com umidade relativa do ar e precipitação são negativas, indicando que quanto maior a umidade e a precipitação, menor a concentração deste poluente. O que é coerente, já que ao aumentar a precipitação e a umidade relativa do ar, há uma maior deposição úmida das partículas.

A correlação negativa entre internações por doenças respiratórias e temperatura indica que nos dias mais frios (temperaturas menores), o número de pessoas que adquirem doenças respiratórias aumenta.

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson das variáveis analisadas

	MP _{2,5}	Pr	T	UR	P	RS	VVM	IDR	IDC
MP _{2,5}	1,0000								
Pr	-0,0534	1,0000							
T	0,1279	0,0472	1,0000						
UR	-0,1851	0,4225	-0,0730	1,0000					
P	0,0551	-0,2488	-0,5432	-0,1669	1,0000				
RS	0,1264	-0,1829	0,4971	-0,4156	-0,2596	1,0000			
VVM	-0,0229	-0,0336	-0,2594	-0,0199	0,1982	0,0247	1,0000		
IDR	0,0786	-0,1245	-0,2731	-0,1715	0,2427	-0,1214	0,0803	1,0000	
IDC	0,0489	-0,0240	-0,0569	-0,0383	0,0360	0,0129	0,0005	0,3627	1,0000

Nota: Pr = Precipitação, T = temperatura, UR = umidade relativa, P = pressão, RS = radiação solar, VVM = velocidade do vento média, IDR = internações por doenças respiratórias, IDC = internações por doenças circulatórias.

Fonte: Autoria Própria, 2019

Por meio de um gráfico do número mensal de internações para cada uma das duas categorias de doenças consideradas, a Figura 10, foi possível observar uma tendência devido à sazonalidade para as internações por doenças respiratórias, sendo que os valores máximos ocorrem nos meses de inverno (junho a agosto), o que não é tão destacado para as internações por doenças circulatórias.

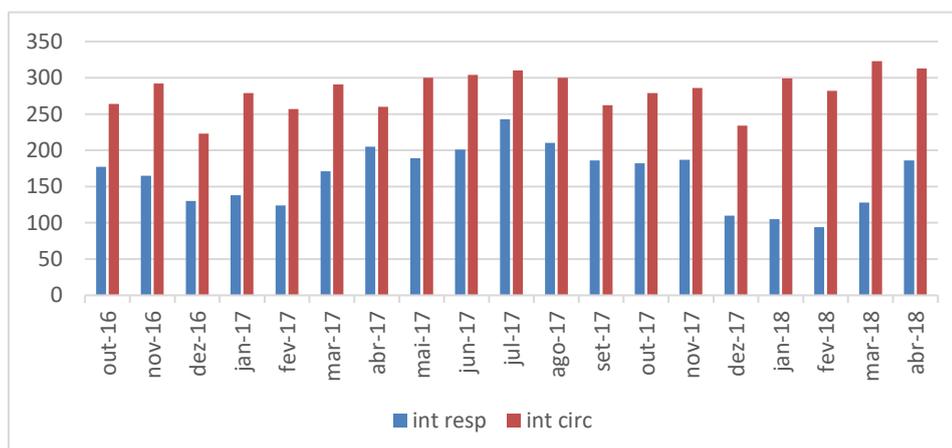


Figura 10 - Internações por mês de doenças respiratórias e circulatórias

Fonte: Autoria Própria, 2019

5.2. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO MP_{2,5} NA SAÚDE

A análise de regressão foi realizada utilizando o *software R*[®]. Para que fossem reconhecidos pelo programa, os dados foram organizados conforme a Tabela 6, que contém as 10 primeiras linhas de dados utilizados.

Tabela 6 - Primeiros dados do banco de dados utilizado pelo *software R*

data	IDR	IDC	MP _{2,5}	DV	Pr	RD	T	UR	P	VVM	diasem	feriado
01/10/2016	5	5	15,47	90	0	988	15,018	75,759	919,702	5,524	6	0
02/10/2016	4	9	11,19	90	0	1068	15,57	76,689	919,898	4,977	7	0
03/10/2016	11	11	37,77	90	4	422,6	15,088	85,536	916,301	2,384	1	0
04/10/2016	10	13	11,14	90	0	940	17,028	76,539	914,119	2,115	2	0
05/10/2016	6	7	12,90	90	0	754	16,283	77,639	913,167	3,826	3	0
06/10/2016	10	5	13,11	315	7	1052	13,897	82,726	907,956	3,904	4	0
07/10/2016	11	12	10,58	270	0	1016	14,968	73,609	912,514	2,918	5	0
08/10/2016	1	4	15,82	180	0	1054	18,357	64,994	914,614	2,865	6	0
09/10/2016	2	6	11,79	90	0	1134	17,776	73,828	917,809	3,956	7	0
10/10/2016	8	8	18,07	90	0	1058	17,025	72,255	919,096	6,501	1	0

Nota: IDR = Internações por Doenças Respiratórias; IDC = Internações por Doenças Circulatórias; MP_{2,5} = concentração de MP_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); DV = direção do vento; Pr = Precipitação; RD = Radiação; T = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); UR = Umidade Relativa do Ar; P = Pressão (bar); VVM = Velocidade do Vento Média; diasem = dia da semana (1=domingo, 7 = sábado); feriado = 0 (não é feriado) e 1 (é feriado).

Fonte: Autoria Própria, 2019

Após a organização do banco de dados, começou-se a análise. Primeiro, foi feita a análise de qual modelo seria mais adequado (Poisson ou Binomial Negativo), levando em conta o número de Akaike (AIC) e o gráfico de envelope (em que os dados teriam que se encontrar dentro de um limite superior e inferior).

A primeira análise foi feita para as doenças respiratórias. Considerou-se primeiro o modelo de a) Poisson e depois o modelo b) Binomial Negativo. Analisando o número de Akaike, o modelo Binomial Negativo (AIC = 2601,4) se ajustou melhor aos dados do que o modelo de Poisson (AIC = 2655,3). Este comportamento se confirma na análise do gráfico que mostra o desvio normal (Figura 11a – Poisson e Figura 11b – Binomial Negativo), em que o modelo de Poisson apresentou superdispersão dos dados, já que tem grande número de resíduos (pontos vermelhos fora do envelope), o que não ocorre com o gráfico do modelo Binomial negativo. Chegou-se então, à conclusão de que o melhor modelo para internações por doenças respiratórias foi o Binomial Negativo.

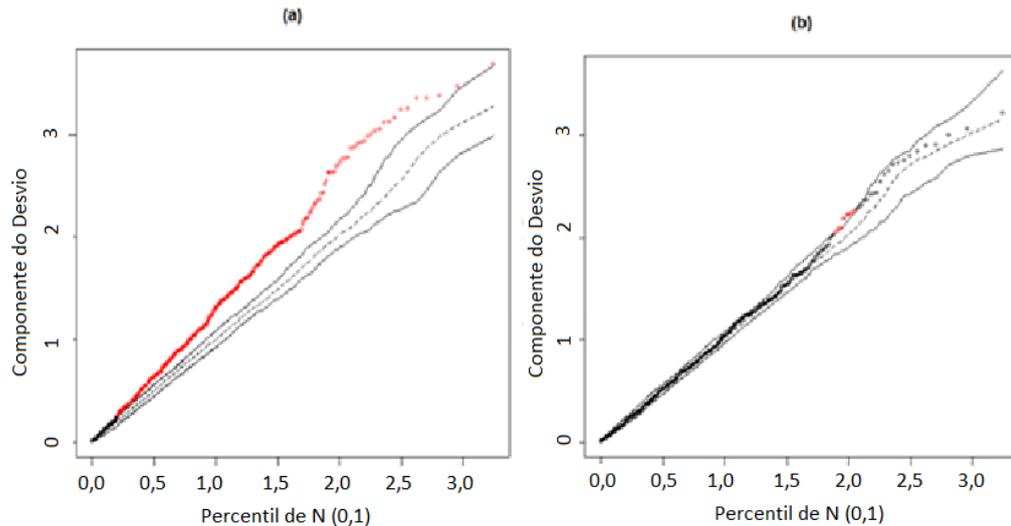


Figura 11 - Gráfico desvio normal para (a) Poisson e (b) Binomial negativo.
Fonte: Autoria Própria, 2019

As mesmas análises foram realizadas para as internações por doenças circulatórias. Comparando os AIC, tem-se 3353,8 para Poisson e 3109,0 para Binomial Negativo, indicando o segundo modelo como mais adequado ao banco de dados. Comportamento confirmado nos gráficos de desvio normal, Figura 12a – Poisson e Figura 12b – Binomial Negativo. A conclusão é que o melhor modelo para internação por doenças circulatórias é o Binomial Negativo, já que o modelo apresentou menor AIC e seu gráfico de desvio normal tem poucos resíduos (pontos fora do envelope).

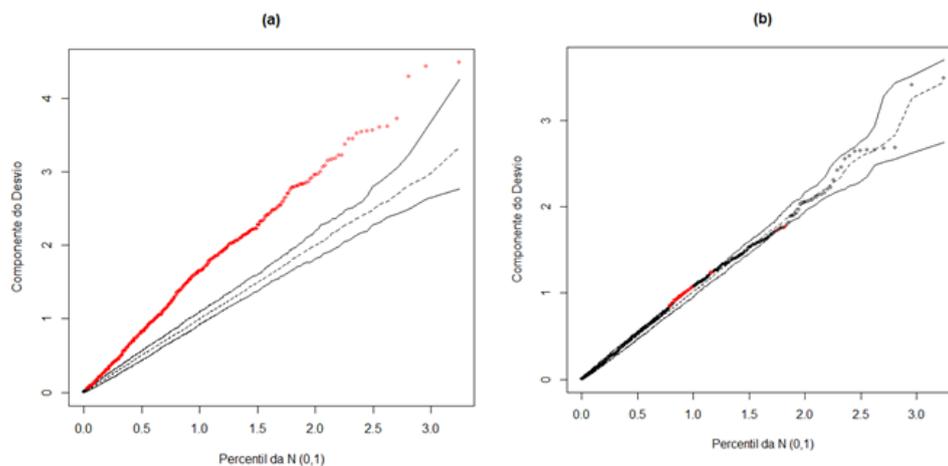


Figura 12 - Gráfico de desvio normal (a) Poisson e (b) Binomial Negativo
Fonte: Autoria Própria, 2019

Nas análises seguintes, foi então, considerado o modelo de regressão Binomial Negativo, por ter apresentado melhor ajuste.

Para melhorar o desempenho do modelo, foi feito o ajuste para tendências temporais, incluindo duas variáveis, uma considerando o dia da semana e outra

para considerar dias de feriado, conforme apresentado na metodologia. Para isso, foi feita uma análise se realmente o modelo melhorou após incorporar essas variáveis.

Na Tabela 7, pode-se observar o AIC para a adição das novas variáveis e na Figura 13, observam-se os gráficos de desvio normal para cada um dos casos: a) adicionando dia da semana para IDR, b) adicionando feriado para IDR, c) adicionando dia da semana e feriado para IDR, d) adicionando dia da semana para IDC, e) adicionando feriado para IDC e por último, f) adicionando dia de semana e feriado para IDC (sendo internações por doenças respiratórias - IDR e por doenças circulatórias - IDC). Conclui-se que o melhor ajuste foi incluindo-se as duas variáveis para os dois tipos de doenças.

Tabela 7 - Número de Akaike em cada caso de adição de tendência temporal

Análise	Variáveis Adicionadas	AIC
Doenças Respiratórias	(a)diasem	2771
	(b)feriado	3082,5
	(c)diasem e feriado	2756,9
Doenças Circulatórias	(d)diasem	2474,5
	(e)feriado	2594,5
	(f)diasem e feriado	2474,9

Fonte: Autoria Própria, 2019

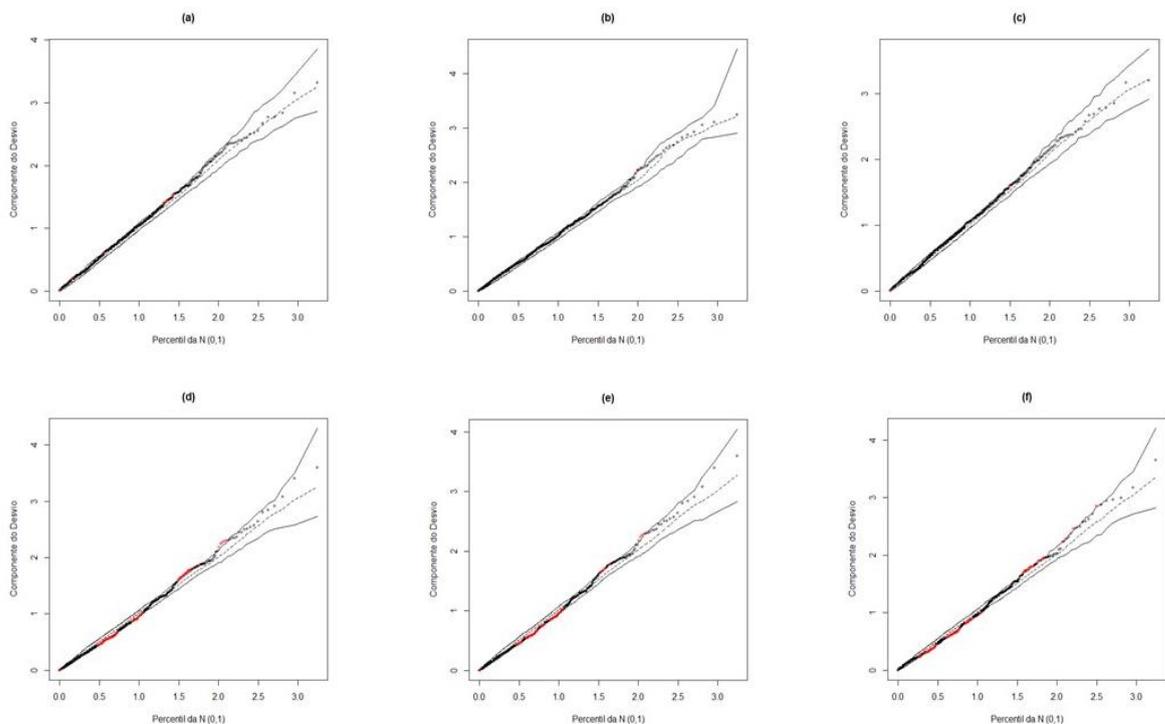


Figura 13 - Gráficos de desvio normal para cada caso de adição de tendência temporal a) diasem e IDR; b) feriado e IDR; c) diasem, feriado e IDR; d) diasem e IDC; e) feriado e IDC e f) diasem, feriado e IDC

Fonte: Autoria Própria, 2019

Na próxima etapa, acrescentou-se a sazonalidade, incluindo uma função *spline cúbica natural*, com 8, 10 e 12 graus de liberdade e verificou-se qual melhor se ajustou.

Na Tabela 8, pode-se verificar o número de AIC para cada número de graus de liberdade (8, 10 ou 12) para doenças respiratórias (IDR) e circulatórias (IDC) e na Figura 14, os gráficos de desvio normal para cada número de graus de liberdade: a) 8 para IDR, b) 10 para IDR, c) 12 para IDR, d) 8 para IDC, e) 10 para IDC e f) 12 para IDC.

Tabela 8 - Número de AIC para cada número de graus de liberdade

Análise	Graus de Liberdade	AIC
Doenças Respiratória	(a) 8	2443,4
	(b) 10	2441,3
	(c) 12	2441,8
Doenças Circulatória	(d) 8	2746,0
	(e) 10	2733,1
	(f) 12	2736,5

Fonte: Autoria Própria, 2019

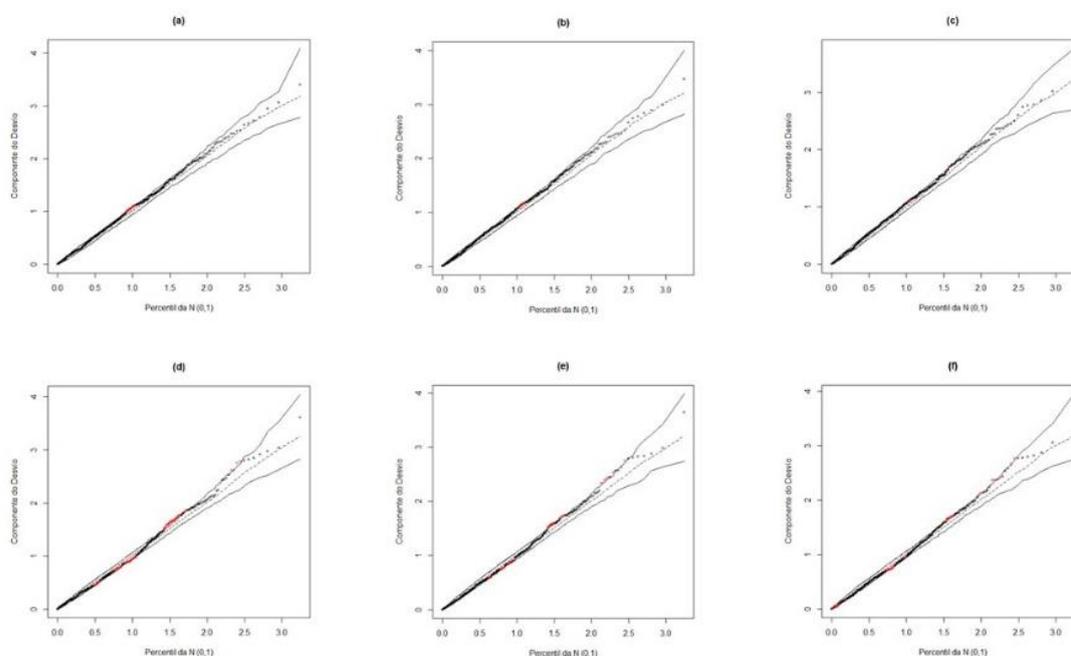


Figura 14 - Gráfico de desvio normal para a) 8 graus de liberdade e IDR – internações por doenças respiratórias; b) 10 graus e IDR; c) 12 graus e IDR; d) 8 graus e IDC – internações por doenças circulatórias; e) 10 para IDC e f) 12 para IDC

Fonte: Autoria Própria, 2019

Pelo valor de AIC e pelo gráfico de desvio normal, conclui-se que o melhor ajuste foi encontrado utilizando-se dez graus de liberdade para IDR e IDC.

Por fim foram feitas as defasagens dos dados de concentração do MP_{2,5} de 1 à 7 dias (lag1-MP_{2,5} a lag7-MP_{2,5}). Com o melhor resultado, foi feita a defasagem da temperatura de 1 a 3 dias (lag1-T a lag3-T), em seguida, com o melhor resultado foi feita a defasagem da umidade relativa de 1 a 3 dias (lag1-UR a lag3-UR) e, por fim, foi definido o ajuste final, baseado no AIC.

Na Tabela 9, tem-se os AIC para cada uma das etapas descritas, e o caminho até encontrar-se o ajuste final.

Tabela 9 - Número de AIC para cada defasagem realizada.

Análise	Defasagem MP _{2,5}	Defasagem Temperatura	Defasagem umidade	AIC
	0			2441,3
	1			2436,0
	2			2433,1
	3			2442,0
	4			2432,5
	5			2433,1
Doenças Respiratórias			0	2431,8
		0	1	2432,4
			2	2432,2
	6		3	2432,5
			1	2432,2
			2	2430,7
			3	2432,8
	7			2536,5
	0			2733,1
	1			2754,5
		0		2728,1
		1		2727,9
		2		2722,5
Doenças Circulatórias	2		0	2721,3
		3	1	2721,3
			2	2716,6
			3	2721,4
		3		
	4			2740,3
	5			2742,7
	6			2749,6
	7			2750,7

Fonte: Autoria Própria, 2019

Como pode-se observar, os melhores ajuste foram, para IDR, lag6-MP_{2,5}, lag0-TM e lag0-UR, diferente da análise para IDC, que teve melhores resultados com lag2-MP_{2,5}, lag3-TM e lag2-UR, sendo que TM é a temperatura média e UR, a umidade relativa. Foi então concluído que esses modelos foram os que melhores

se ajustaram aos dados.

Nas tabelas 10 e 11 pode-se verificar o desvio residual e as variáveis atribuídas para IDR e IDC, respectivamente.

Tabela 10 - Tabela de desvio para IDR do melhor ajuste (lag6-MP_{2,5}; lag0-T e lag0-UR)

Coefficientes	Desvio Residual	Graus de Liberdade	Desvio	Valor P
Nulo		527	916,37	
MP _{2,5}	0,186	509	582,7	<0,1
Direção do Vento	0,036	508	582,77	<0,1
Precipitação	3,024	507	579,64	<0,05 .
Radiação Solar	2,014	506	577,62	<0,1
Temperatura Média	0,112	505	577,51	<0,1
Umidade Relativa	3,387	504	574,13	<0,05 .
Pressão	0,237	503	573,89	<0,1
Velocidade do Vento	0,585	502	573,3	<0,1

. p=0,05

Fonte: Autoria Própria, 2019

Tabela 11 - Tabela de desvio para IDC do melhor ajuste (lag2-MP_{2,5}; lag 3-T e lag2-UR)

Coefficientes	Desvio Residual	Graus de Liberdade	Desvio	Valor P
Nulo		526	1204,58	
MP _{2,5}	1,74	508	573,28	<0,1
Direção do Vento	0,69	507	572,58	<0,1
Precipitação	0,61	506	571,97	<0,1
Radiação Solar	5,68	505	566,29	<0,01*
Temperatura Média	1,89	504	564,4	<0,1
Umidade Relativa	4,97	503	559,43	<0,01*
Pressão	2,5	502	556,93	<0,1
Velocidade do Vento	0,15	501	556,78	<0,1

*p=0,01

Fonte: Autoria Própria, 2019

Observa-se que para IDR as variáveis significativas foram precipitação e umidade relativa, apesar de baixo nível de significância, e para IDC as variáveis mais significativas foram a radiação solar e umidade relativa, com nível médio de significância. O nível de significância é calculado pelo próprio software utilizando teste de hipóteses.

Com o modelo escolhido e avaliado, pode-se observar nas Tabelas 12 com os coeficientes de regressão e respectivos erros padrão para IDR e Tabela 13 verifica-se os mesmos dados para IDC. Os coeficientes de regressão multiplicados a variável atribuída e somados indicam a variável resposta, ou seja, o número de

internações.

Tabela 12 - Coeficientes de regressão para IDR considerando lag6-MP_{2,5}, lag0-T e lag0-UR

Variáveis	β	Erro Padrão
MP _{2,5}	-0,001465	0,00273
Dir. Vento	-0,000003603	0,0002029
Prec.	-0,00121	0,002195
Rad. Solar	-0,0000252	0,000134
Temp.	-0,007718	0,009606
UR	-0,006949	0,003521
Pressão	-0,004933	0,007854
Vel. Vento	0,01431	0,01867

Fonte: Autoria Própria, 2019

Tabela 13 - Coeficientes de regressão para IDC considerando lag2-MP_{2,5}, lag3-T e lag2-UR

Variáveis	β	Erro Padrão
MP _{2,5}	0,001209	0,00221
Dir. Vento	0,0001923	0,0001534
Prec.	0,001781	0,001474
Rad. Solar	0,0001724	0,00008319
Temp.	0,009069	0,00974
UR	-0,004623	0,002104
Pressão	-0,00965	0,005927
Vel. Vento	0,005451	0,01404

Fonte: Autoria Própria, 2019

O cálculo do risco relativo foi então, realizado para estes modelos, como observa-se na Tabela 14, em que foram consideradas apenas variáveis estatisticamente significativas para o cálculo do risco. Apesar do MP_{2,5} não ter sido uma variável significativa na análise, foi incluída por ser o objeto principal do estudo.

Tabela 14 - Risco Relativo das variáveis significativas para IDR e IDC e do MP_{2,5}

Análise	Variáveis	Risco Relativo	IC (95%)
Doenças Respiratórias	MP _{2,5}	0,9985	0,9932-1,0039
	Precipitação	0,9988	0,9945-1,0031
	Umidade Relativa	0,9931	0,9862-0,9999
Doenças Circulatórias	MP _{2,5}	1,0012	0,9969-1,0056
	Radiação Solar	1,0002	1,0000-1,0003
	Umidade Relativa	0,9954	0,9913-0,9995

Fonte: Autoria Própria, 2019

Para o cálculo da valoração, determinou-se o número de internações, utilizando a metodologia de Nagpure *et al* (2014). Primeiramente, com o risco relativo calculou-se a proporção de risco atribuído à população (PRA) para cada uma das variáveis, porém a que nos interessa de fato é a concentração de MP_{2,5}. Com o PRA é possível calcular a taxa da população exposta (IE), onde é necessário

encontrar o fator de frequência do efeito na população, ou seja, utilizou-se a população de Ponta Grossa como 348.043 habitantes e considerou-se o número de internações por IDR e IDC, separadamente. Com isso é possível estimar o número de internações por ano, resultados que se encontra na Tabela 15.

Tabela 15 - Risco atribuído (PRA) e número de internação por exposição

Análise	Variável	PRA	Nº Internações/ano
Doença Respiratória	MP _{2,5}	0,002045	5
Doença Circulatória	MP _{2,5}	-0,001696	6

Fonte: Autoria Própria, 2019

Com isso, percebe-se que o MP_{2,5} afetou pouco a saúde da população estudada no período considerado, pois não foi reconhecido como variável significativa no modelo definido, apresentando RR abaixo de 1 para doença respiratória e próximo de 1 para doença circulatória. Conseqüentemente, no cálculo do risco atribuível à saúde, percebeu-se que o número de internações causadas pela exposição ao MP_{2,5} é bem pequeno. Deve-se destacar que utilizamos menos de dois anos de dados, o que prejudicou a análise.

Diante dos valores estimados de internação e o valor médio pago pelo governo por internação (R\$ 1.308,02) (IBGE, 2019), fez-se uma estimativa dos custos com internações apenas devido à poluição por MP_{2,5}.

Portanto, a estimativa do valor gasto pelo governo com internações por doenças respiratórias é de R\$6.540,10 e, por doenças circulatórias, R\$ 7.848,12. O total seria de R\$ 14.388,22.

Os valores apresentados não são significativos, entretanto deve-se destacar que uma nova análise será realizada quando todos os filtros forem analisados. Os resultados poderão mostrar tendências diferentes, já que quanto maior o banco de dados, mais próximos os valores estarão dos reais.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou que a concentração média diária de $MP_{2,5}$, na cidade de Ponta Grossa, foi de $10,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, abaixo do padrão de qualidade do ar da OMS. De forma geral, Ponta Grossa apresenta um clima com temperaturas mais amenas e alta umidade, o que influencia juntamente com o $MP_{2,5}$ no número hospitalizações.

O melhor modelo para internações por doenças respiratórias (IDR) foi o Binomial Negativo, considerando dias da semana, feriado, as variáveis meteorológicas (precipitação, radiação solar, temperatura média, velocidade do vento, umidade relativa e pressão) e o *spline* cúbico com dez graus de liberdade. Os mesmos parâmetros considerados no melhor ajuste para IDR foram encontrados para internações por doenças cardiovasculares. O melhor modelo para IDR foi usando lag6- $MP_{2,5}$, lag0-TM (temperatura média) e lag0-UR (umidade relativa), que foi diferente de IDC, que se ajustou melhor com lag2- $MP_{2,5}$, lag3-TM e lag2-UR. Os resultados da avaliação de impacto na saúde mostraram que o $MP_{2,5}$ afetou pouco a saúde da população de Ponta Grossa, chegando-se a valores de onze internações anuais por exposição ao $MP_{2,5}$, entre elas, cinco por IDR e seis por IDC. Consequentemente, os gastos aproximados com os efeitos na saúde devido à poluição por $MP_{2,5}$ foram baixos, aproximadamente R\$ 14.388,22.

Considerando-se que o estudo foi pioneiro em Ponta Grossa, pode-se ter ideia e agregar com um histórico do comportamento desse material na cidade, além de poder se afirmar que pela análise de dados, o $MP_{2,5}$ tem um impacto leve à saúde da população. Deve-se destacar que uma nova análise será realizada quando todos os filtros forem analisados. Os resultados poderão mostrar tendências diferentes, já que quanto maior o banco de dados, mais próximos os valores estarão dos reais.

7. TRABALHOS PUBLICADOS

Artigo Completo

LAZZARIN, Lilian N. A.; BELOTTI, J. T. ; SILVA, L. V. ; MARINHO, M. H. N. ; ALVES, T. A. ; TADANO, Y. S. ; SIQUEIRA, H. V. . **Redes Neurais Feedforward Aplicadas na Avaliação do Impacto da Poluição Atmosférica e Variáveis Climáticas na Saúde Humana.** In: 1a Conferência Ibérica de Mecânica Teórica e Experimental e Materiais / 11o Congresso Nacional de Mecânica Experimental, 2018, Porto. Anais do TEMM 2018 / CNME 2018, 2018. v. 2018. p. 275-284.

SILVA, L. V.; NISHIDA, R. B.; MELO, L. C. ; GODOI, A. F. L. ; GODOI, R. H. M. ; ALVES, T. A. ; TADANO, Y. S. . **Monitoramento da Qualidade do Ar: Amostragem de Material Particulado (MP2,5) em Ponta Grossa/Brasil.** In: 1a Conferência Ibérica de Mecânica Teórica e Experimental e Materiais / 11o Congresso Nacional de Mecânica Experimental, 2018, Porto. Anais do TEMM 2018 / CNME 2018, 2018. v. 2018. p. 85-94.

SILVA, L. V.; MELO, L. C.; GODOI, R. H. M.; ALVES, T. A.; TADANO, Y. S. **Material Particulado (MP2,5) Amostrado em Ponta Grossa/PR.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2018, Ponta Grossa, PR. Anais do CONBREPRO 2018, 2018. v. 2018. p. x-x.

Resumo expandido

SILVA, L. V. ; ALVES, T. A. ; TADANO, Y. S.. **Monitoramento da Qualidade do Ar: Amostragem de Material Particulado (MP2,5) em Ponta Grossa/Paraná.** In: XXIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2018, Apucarana. Anais do SICITE 2018, 2018. v. 2018. p. x-x.

NISHIDA, R. B. ; SILVA, L. V. ; ALVES, T. A. ; TADANO, Y. S. . **Amostragem de Material Particulado (MP2,5) em um Centro Urbano de Médio Porte.** In: 19o Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2017, São Paulo, SP. Anais do SICT FATEC-SP 2017, #202, 2017. v. 2017. p. x-x.

Resumo

SILVA, L. V.; ALVES, T. A.; TADANO, Y. S. **Amostragem e Monitoramento do Material Particulado (MP2,5) em Ponta Grossa/PR.** In: 2o Congresso Nacional de Engenharia e Tecnologia, 2018, Ponta Grossa. Anais do CONET 2018, 2018. v.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA. **Poluição Atmosférica**. 2014. Disponível em: [≤https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_PT/SEM1DEMJ74G_0>](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_PT/SEM1DEMJ74G_0). Acesso em: 03 jun. 2018.

AGUIAR, L. S. **Estudo da relação da qualidade do ar e variáveis meteorológicas na ocorrência de morbidade respiratória e circulatória na região metropolitana de São Paulo**. 2015. 105f. Tese de mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

ALVARENGA, G. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ANDERSON, J.; THUNDIYIL, J.; STOLBACH, A. **Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health**. Journal of Medical Toxicology, v. 8, n. 2, p. 166-175, 2012/06/01 2012. ISSN 1556-9039. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>.

ANDRADE, M. F.; ORSINI, C.; MAENHAUT, W. **Receptor Modeling for Inhalable atmospheric particles in São Paulo, Brazil**. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Section B. Beam Interactions with Materials and Atoms, Holanda., v. B75, p. 308-311, 1993.

ANDRADE, F.; ORSINI, C.; MAENHAUT, W. **Relation Between Aerosol Sources and Meteorological Parameters for Inhalable Atmospheric Particles In Sao-Paulo City, Brazil**. Atmospheric Environment, v. 28, n. 14, p. 2307-2315, Aug 1994. ISSN 1352-2310.

ANDREÃO, Willian L.; ALBUQUERQUE, Taciana TA; KUMAR, Prashant. **Excess deaths associated with fine particulate matter in Brazilian cities**. Atmospheric environment, v. 194, p. 71-81, 2018.

ARDILES, Leda Gabriela *et al.* **Risco à saúde atribuído à poluição do ar e variáveis meteorológicas na região metropolitana de Curitiba**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BRAGA A.L.F., SALDIVA P.H.N., PEREIRA L.A.A., MENEZES J.J.C., CONCEIÇÃO G.M.S., LIN C.A., ZANOBETTI A., SCWARTZ J., DOCKERY D.W. **Health Effects of Air Pollution Exposure on Children and Adolescents in São Paulo, Brazil**. Pediatric Pulmonology 31:106-113, 2001.

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

CANÇADO, José Eduardo Delfini *et al.* **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica**. J bras pneumol, v. 32, n. Supl 1, p. S5-S11, 2006.

CANOVA, C. *et al.* **PM10-induced Hospital Admissions for Asthma and**

Chronic Obstructive Pulmonary Disease The Modifying Effect of Individual Characteristics. *Epidemiology*, v. 23, n. 4, p. 607-615, Jul 2012. ISSN 1044-3983. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000304916900013 >.

CASTANHO, Andrea Dardes de Almeida. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo.** 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CETESB. **Padrões de Qualidade do Ar.** 2017. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

COELHO, M.S.Z.S.; MASSAD E. **The impact of climate on Leptospirosis in São Paulo, Brazil.** *Int. J. Biometeorol.* 56:233-241, 2012.

CONAMA. **GT Qualidade do Ar - Proposta de Revisão da Resolução CONAMA 03/1990.** AMBIENTE, M. D. M. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 491.** AMBIENTE, M. D. M. 2018.

CONAMA. **Gt de fontes fixas - grupo de trabalho para tratar de fontes não contempladas pela resolução conama nº 382/2006.** AMBIENTE, M. D. M. 2007.

CORDEIRO, G.M.; DEMÉTRIO, C.G.B. **Modelos lineares generalizados e extensões.** Piracicaba, São Paulo. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, USP, 2010.

DATASUS. **Epidemiológicas e Morbidade.** Disponível em: <<http://www.datasus.gov.br/>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

RODRIGUES, Poliany Cristiny de Oliveira *et al.* **Variabilidade climática aumenta a morbimortalidade associada ao material particulado.** *Revista de Saúde Pública*, v. 51, p. 1-9, 2017.

DOMINICI, F.; SHEPPARD, CLYDE, M. (2003). **Health effects of air pollution: A statistical review.** *International Statistical Review*, Vol. 71, No. 2, pp. 243-276.

DEVLEESSCHAUWER, Brecht *et al.* **DALY calculation in practice: a stepwise approach.** *International journal of public health*, v. 59, n. 3, p. 571-574, 2014.

ESTEVES, Gheisa Roberta Telles *et al.* **Estimativa dos efeitos da Poluição Atmosférica sobre a Saúde Humana: algumas possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo.** Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, p. 1-20, 2004.

FREITAS, Clarice Umbelino de *et al.* **Poluição do ar e impactos na saúde em Vitória, Espírito Santo.** *Revista de Saúde Pública*, v. 50, 2016.

GUARIEIRO, L. L. N.; GUARIEIRO, A. L. N. **Vehicle Emissions: What Will**

Change with Use of Biofuel?. *Biofuels - Economy, Environment And Sustainability*, [S.l.], p.357- 378, 23 jan. 2013.

HARRISON, Roy M. *et al.* **Health risk associated with airborne particulate matter and its components in Jeddah, Saudi Arabia**. *Science of the Total Environment*, v. 590, p. 531-539, 2017.

HWANG, Su-Lun *et al.* **Emergency room visits for respiratory diseases associated with ambient fine particulate matter in Taiwan in 2012: a population-based study**. *Atmospheric Pollution Research*, v. 8, n. 3, p. 465-473, 2017.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **RESOLUÇÃO N° 016/2014**: Qualidade do ar. 2014. 104 p.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **RESOLUÇÃO SEMA N° 041/02**. 2002. 57 p.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Indicadores do desenvolvimento sustentável**. Estudo e pesquisas. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm/>>. Acesso em 06 nov. 2012.

LADEN, Francine *et al.* **Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities**. *Environmental health perspectives*, v. 108, n. 10, p. 941, 2000.

LANGRISH, J. P. *et al.* **Reducing Personal Exposure to Particulate Air Pollution Improves Cardiovascular Health in Patients with Coronary Heart Disease**. *Environmental Health Perspectives*, v. 120, n. 3, p. 367-372, Mar 2012. ISSN 0091- 6765. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000301394700023>.

LAZZARI A. R. **Comparação de técnicas estatísticas para analisar a relação entre doenças respiratórias e concentrações de poluentes atmosféricos**. *Ciência e Natura*, vol. 35, n.1, p. 098-105, jul. 2013. DOI: <<http://dx.doi.org/10.5902/2179-460X0757>>.

LIMA-COSTA, Maria Fernanda; BARRETO, Sandhi Maria. **Tipos de estudos epidemiológicos: conceitos básicos e aplicações na área do envelhecimento**. *Epidemiologia e serviços de saúde*, v. 12, n. 4, p. 189-201, 2003.

LIU, Jia Coco; PENG, Roger D. **Health effect of mixtures of ozone, nitrogen dioxide, and fine particulates in 85 US counties**. *Air Quality, Atmosphere & Health*, p. 1-14, 2018.

MACHIN, Adrian Blanco; NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa. **Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil**. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, p. e00006617, 2018.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes Atmosféricos**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

MURRAY, Christopher JL; LOPEZ, Alan D. **Global health statistics: a compendium of incidence, prevalence and mortality estimates for over 200 conditions**. Harvard University Press, 1996.

NARDOCCI, Adelaide Cassia *et al.* **Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, v. 29, n. 9, p. 1867-1876, 2013.

NASCIMENTO, Antônio Paula *et al.* **Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças**. Revista de Saúde Pública, v. 51, 2017.

NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa *et al.* **Air pollution and respiratory diseases: ecological time series**. Sao Paulo Medical Journal, v. 134, n. 4, p. 315-321, 2016.

NAGPURE, A. S.; GURJAR, B. R.; MARTEL, JC. **Human health risks in national capital territory of Delhi due to air Pollution**. Atmospheric Pollution Research 5, p. 371-380, 2014.

NISHIDA, Ricardo Baptista. **Análise do material particulado emitido na cidade de Ponta Grossa**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air pollution**. 12 mai. 2016. Disponível em: <http://www.who.int/topics/air_pollution/en/>. Acesso em: 22 mai. 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air Quality Guidelines**, Global Update 2005. Alemanha, cap.10- 217, p. 305, 2006.

PENNINGTON, David *et al.* **Assessing human health response in life cycle assessment using ED10s and DALYs: part 2 - noncancer effects**. Risk Analysis: AN INTERNATIONAL JOURNAL, v. 22, n. 5, p. 947-963, 2002.

POLEZER, Gabriela. **Avaliação integrada da poluição atmosférica, impactos na saúde e valoração nos custos devido a exposição ao material particulado em Curitiba**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

POLEZER, Gabriela *et al.* **Assessing the impact of PM 2.5 on respiratory disease using artificial neural networks**. Environmental Pollution, v. 235, p. 394-403, 2018.

RIBEIRO, J. **Efeitos da Poluição do Ar Sobre a Saúde**. 2016. Disponível em: <<http://reabilitacaocardiaca.wixsite.com/drjoaquimribeiro/single-post/2016/05/13/Efeitos-da-poluição-do-ar-sobre-a-saúde>>. Acesso em: 4 jun. 2018.

SCHMIDT, Rafael. **Dependencies of Extreme Events in Finance: Modelling, Statistics and Data Analysis**. 2003. Tese de Doutorado. Verlag nicht ermittelbar.

SILVA, ALM. **Direito do meio ambiente e dos recursos naturais**. São Paulo: Revista dos Tribunais; 2006. V.3, p.85.

DA SILVA, Cacilda Bastos Pereira et al. **Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil**. Journal of environmental management, v. 101, p. 191-196, 2012.

DE SOUZA TADANO, Yara; UGAYA, Cássia Maria Lie; FRANCO, Admilson Teixeira. **Methodology to assess air pollution impact on human health using the generalized linear model with Poisson Regression**. In: Air Pollution-Monitoring, Modelling and Health. InTech, 2012.

TADANO, Y. S. **Análise do impacto de MP10 na saúde populacional: estudo de caso em Araucária, Paraná**. 2007. 99 f. Tese de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação. Curitiba, 2007.

TADANO, Y. S. **Simulação da Dispersão dos Poluentes Atmosféricos para Aplicação em Análise de Impacto**. 2012. 197 f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação: Engenharia mecânica. Campinas, 2012.

TADANO, Y. DE S., UGAYA, C. M. L., FRANCO, A. T. **Método de regressão de Poisson: Metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional**. Ambiente & Sociedade, Campinas, v. XII, n. 2, p. 241-255, 2009.

TAMBELLINI, Anamaria Testa *et al.* **A temática saúde e ambiente no processo de desenvolvimento do campo da saúde coletiva: aspectos históricos, conceituais e metodológicos**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 3, n. 2, p. 47-59, 1998.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). **Air Pollution Emissions Overview**. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/airquality/emissns.html>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). **Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)**. 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>>. Acesso em: 17 maio 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). **Particle**. Your Health, US Environmental Protection Agency, Sept 2003. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). **What is PM, and how does it get into the air?** disponível

em:<<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#pm>>. acesso em: 22 mai. 2018.

VALAVANIDIS, Athanasios; FIOTAKIS, Konstantinos; VLACHOGIANNI, Thomais. **Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms**. Journal of Environmental Science and Health, Part C, v. 26, n. 4, p. 339-362, 2008.

VORMITTAG, EMPAA et al. **Monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Air Quality Guidelines**, Global Update 2005. Alemanha, cap.10- 217, p. 305, 2006.

WHO (World Health Organization), 2003. **Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide**. WHO, 2003. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>>.

XING, Yu-Fei *et al.* **The impact of PM2.5 on the human respiratory system**. Journal of thoracic disease, v. 8, n. 1, p. E69, 2016.

APÊNDICE A

Os Modelos Lineares Generalizados (MLG) são uma distribuição de probabilidades e contêm os seguintes componentes (TADANO, 2012; TADANO *et al.*, 2009; CORDEIRO E DEMÉTRIO, 2010):

- Componente aleatório: é o tipo de variável resposta que segue uma distribuição com caráter exponencial. É representado como um grupo de variáveis aleatórias independentes Y_1, \dots, Y_n com médias μ_1, \dots, μ_n e com valor esperado $E(Y_i) = \mu_i$, sendo que $i = 1, \dots, n$;
- Componente sistemático: é o componente que gera o caráter linear do modelo, ou seja, $\eta = \beta \cdot X$, chamado de preditor linear, onde $X = (x_1, \dots, x_n)$ é a matriz do modelo, $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)$ é o vetor de parâmetros e $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_n)$ é o preditor linear.
- Função de ligação: é a função cuja finalidade é vincular os componentes aleatórios e sistemáticos, ou seja, faz a ligação entre a média da variável resposta (μ) ao preditor linear, que nos MLG é a função $g(\mu) = \eta$, em que $\eta = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$ ou ainda $\eta = \beta X_i$, e sendo $g(\mu)$ uma função monótona e diferenciável. Os coeficientes β é o que se deseja encontrar através da regressão. As funções de ligação canônica mais utilizadas em estudos epidemiológicos de poluição atmosférica são a função de distribuição de Poisson e a Binomial negativa que estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Funções de ligação canônica para a distribuição de Poisson e Binomial Negativa.

Distribuição	Poisson	Binomial Negativa
Função de ligação canônica (η)	$\ln(\mu)$	$\ln\left(\frac{\mu}{k + \mu}\right)$

Fonte: Tadano, e Ardiles, 2016.