

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina

LEDA GABRIELA ARDILES

**RISCO À SAÚDE ATRIBUÍDO À POLUIÇÃO DO AR E VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LONDRINA

2016

LEDA GABRIELA ARDILES

**RISCO A SAÚDE ATRIBUÍDO À POLUIÇÃO DO AR E VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana/Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Leila Droprinchinski
Martins

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Martins.

LONDRINA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

A676r Ardiles, Leda Gabriela

Risco a saúde atribuído à poluição do ar e variáveis meteorológicas na Região metropolitana de Curitiba / Leda Gabriela Ardiles. – Londrina: [s.n.], 2016.

103 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Leila Droprinchinski Martins

Co-orientador: Prof.^o Dr.^o Jorge Alberto Martins

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2016.

Bibliografia: f. 89-96.

1. Ar - Poluição. 2. Saúde Ambiental. 3. Toxicologia Ambiental - Curitiba. I. Martins, Leila Droprinchinski, orient. II. Martins, Jorge Alberto, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

RISCO À SAÚDE ATRIBUÍDO À POLUIÇÃO DO AR E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

por

Leda Gabriela Ardiles

Dissertação de mestrado apresentada no dia 29 de fevereiro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

Prof.^a Dra. Leila Droprinchinski Martins
(UTFPR)

Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves
(Universidade de São Paulo - USP)

Prof.^a Dra. Yara de Souza Tadano
(UTFPR)

Prof. Dr. Edson Fontes, de Oliveira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

A Folha Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me brindar sabedoria e paciência nos momentos mais precisos.

À minha família, pelo apoio, incentivo e especialmente pela compreensão.

À minha orientadora, Prof.^a Dra. Leila Droprinchinski Martins pela confiança, ensinamentos e dedicação. Ao Prof. Dr. Jorge Alberto Martins pela hospitalidade, por fazer-nos sentir em casa.

Ao Prof. Dr. Silvano Cesar da Costa, do Departamento de Estatística da Universidade Estadual de Londrina, pelo apoio brindado e pelo auxílio na realização das análises estatísticas deste trabalho e utilização do software R.

À Prof.^a Dra. Yara de Souza Tadano, do Departamento de Matemática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Ponta Grossa, pelos seus ensinamentos e auxílio nas análises deste estudo.

À pesquisadora e colega Ma. Viviana Urbina pelo apoio e contribuição nas análises deste trabalho.

Ao pesquisador e colega Me. Maurício Nonato Capucim pela elaboração e ajuda com as imagens realizadas no software ArcGis.

Aos professores da banca examinadora, pela contribuição e dedicação neste trabalho.

Aos companheiros do Laboratório de Eventos Atmosféricos Extremos e colegas de pós-graduação, por estarem sempre presentes, pelas dicas, sugestões, questionamentos, companhia e amizade: Laís, Bia, Sameh, Alexandra, Ana Flávia, Iara, Dani, Natalia, Gisele, Rafaela, Camila, Gaby.

Aos professores, funcionários e coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de realização deste mestrado.

Ao Instituto Lactec (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento), pelo fornecimento de dados necessários para a realização deste trabalho.

Ao SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), pelo envio de dados meteorológicos.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) e Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

À todas as pessoas que colaboraram para a realização e finalização deste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

ARDILES, L. G. **Risco à saúde atribuído à poluição do ar e variáveis meteorológicas na Região Metropolitana de Curitiba.** 2016. 103p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). Câmpus Apucarana/Londrina. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016.

Este trabalho visou determinar o risco atribuído à saúde da população pela exposição à poluição do ar e variáveis meteorológicas na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e com maior ênfase nas cidades de Araucária e Curitiba, no período de 2010 a 2014, nas faixas etárias de 0 a 9 anos, 10 a 19, 20 a 64, maiores de 64 anos e para todas as faixas etárias incluídas. Curitiba e Araucária são os maiores polos populacional e industrial do estado, respectivamente, com predominância de distintas fontes de emissão de poluentes. Neste estudo foi investigada as associações da qualidade do ar e variáveis meteorológicas com doenças circulatórias e respiratórias, calculado o Risco Relativo (RR) e o risco atribuído a saúde pelas concentrações de MP_{10} e O_3 . Os resultados indicaram que o modelo com distribuição Binomial Negativa foi o mais adequado aos dados e utilizado diferentemente da maioria dos estudos que usam Poisson. A partir dos coeficientes obtidos no modelo de regressão, foram calculados o risco relativo e o risco atribuído causados pelos poluentes do ar. O melhor ajuste de modelo (resíduo de Pearson mais próximo a um), se encontrou para o grupo de idosos com mais de 64 anos, em Araucária, para doenças circulatórias devido às concentrações de CO, e para internações respiratórias devido aos poluentes O_3 , SO_2 e T- T_m , que é a temperatura diária menos a temperatura média de 2010 a 2014. Em Curitiba, o melhor ajuste ocorreu para o grupo com todas as faixas etárias para internações circulatórias devido ao MP_{10} , e o grupo de 20 a 64 anos para internações respiratórias, para CO, O_3 e T- T_m . As defasagens mais importantes ocorreram entre 3 a 7 dias após a exposição aos poluentes atmosféricos. Em Araucária, o RR mais significativo estatisticamente para internações circulatórias foi de 1,44635 em maiores de 64 anos para CO, e nas internações respiratórias foi de 2,4128 encontrado na faixa etária de 10 a 19 anos, também para o CO. Em Curitiba o RR mais significativo ocorreu para internações por doenças respiratórias com valor de 1,00315 na faixa de 0 a 9 anos para o MP_{10} , de 1,14881 na faixa de 20 a 64 anos para CO, de 1,00329 entre 20 a 64 anos para O_3 , e de 1,13886 para maiores de 64 anos devido ao CO. Foram associadas 112 e 97 internações devido ao MP_{10} , por doenças circulatórias e respiratórias na RMC no período de 2010 a 2014. Foram associadas 67 internações respiratórias, devido ao O_3 . Com a estimação destes valores, é possível avaliar o impacto que a poluição do ar na RMC representa para a saúde pública e que poderiam ser evitados e direcionados na prevenção dos efeitos adversos à saúde da população, na implantação de políticas e normas reguladoras para diminuição da emissão e concentração dos poluentes atmosféricos.

Palavras-chave: Regressão Binomial Negativa. Poluição do ar. Variáveis meteorológicas. Região Metropolitana de Curitiba. Risco Relativo. Risco atribuível.

ABSTRACT

ARDILES, L. G. **Health risk attributed by air pollution and meteorological variables in the Metropolitan Region of Curitiba.** 2016. 103p. Dissertation (Master degree). Environmental Engineering Master Program (PPGEA). Campus Apucarana/Londrina. Federal University of Technology - Paraná. Londrina, 2016.

This study aimed to determine the risk attributed to human health by exposure to air pollution and meteorological variables in the Metropolitan Region of Curitiba (MRC). The greater emphasis is on the cities of Araucária and Curitiba, in the period from 2010 to 2014, for age groups of 0-9 years old, 10-19, 20-64, over 64 years, and another including all ages. Curitiba has the major populations and Araucaria has the major industrial centers of the state, with a predominance of different pollutant emission sources. This study investigated the associations of air quality and meteorological variables with circulatory and respiratory diseases, the relative risk (RR) and the risk assigned to health by concentrations of PM₁₀ and O₃. The results indicate that the model with Negative Binomial distribution is the most suitable, differently of most of the studies presented until now. The relative risk and attributable risk by air pollutants were calculated from the coefficients obtained in the regression model. The best adjustment was found for the group of people over 64 years in Araucaria, both for circulatory diseases due to CO, as for respiratory hospitalizations due to O₃, SO₂ and T-T_m. In Curitiba, the best adjustment of the model was for the group containing all ages for circulatory hospitalizations due to PM₁₀, and the group of 20-64 years for respiratory hospitalizations for CO, O₃ and T-T_m. The most significant lags were from 3 to 7 days after the exposure to air pollution. In Araucária the most statistically significant RR was 1.44635 for circulatory hospitalizations among people over 64 years due to CO. For respiratory hospitalizations, the RR was 2.4128, found in the age group 10 to 19 years, corresponding to the pollutant CO. The RR was also important in the group of 20-64 years for NO₂, which was 1.00758. At Curitiba the most significant RR was by hospitalizations for respiratory diseases in the amount of 1.00315 to the group of 0-9 years due to PM₁₀, of 1.14881 in the range of 20-64 years old for CO, of 1.00329 for 20-64 to O₃, and 1.13886 for over 64 years old due to CO. 112 circulatory hospitalizations in the MRC were associated to PM₁₀ and 97 respiratory hospitalization were associated with the PM₁₀. 67 respiratory hospitalizations in the MRC were associated to O₃. With the estimation of these values, it is possible to evaluate the impact in public health and how these costs could be avoided and focused on the prevention of adverse effects of public health, the implementation of regulatory policies and regulations to reduce the emission and concentration of air pollutants.

Keywords: Binomial negative regression. Air pollution. Meteorological variables. Metropolitan Region of Curitiba. Relative risk. Risk attributed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nível de deposição dos poluentes no sistema respiratório.....	17
Figura 2. Localização da área de estudo: RMC e seus municípios, Araucária (Nº 4) e Curitiba (Nº 14).	24
Figura 3. Localização das estações de qualidade do ar e de variáveis meteorológicas.....	27
Figura 4. Médias mensais climatológicas da RMC - 1961 a 2014: (a) Temperatura e (b) Precipitação e umidade relativa.	46
Figura 5. Rosa dos ventos na estação SIMEPAR-Curitiba no período de 2010-2014.	47
Figura 6. Série temporal de temperaturas médias em cada estação meteorológica da RMC, 2010-2014.....	48
Figura 7. Número de internações mensais por doenças circulatórias na RMC, durante 2010-2014.	49
Figura 8. Número de internações mensais por doenças respiratórias na RMC, durante 2010-2014.	50
Figura 9. Série temporal de concentrações médias diárias dos poluentes nas estações de Araucária.	54
Figura 10. Série temporal de concentrações médias diárias dos poluentes nas estações em Curitiba.	56
Figura 11. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson, para internações circulatórias em Araucária.....	62
Figura 12. Gráfico de desvio normal com distribuição Binomial Negativa, para internações circulatórias em Araucária.....	63
Figura 13. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Araucária, para todas as faixas etárias.	64
Figura 14. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações circulatórias em Curitiba, para todas as faixas etárias.....	67
Figura 15. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Curitiba, para todas as faixas etárias.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações de monitoramento, poluentes analisados, localização e categoria de cada estação.	29
Tabela 2. Funções de ligação canônica para a distribuição de Poisson e Binomial Negativa.	34
Tabela 3. Banco de dados com os dois primeiros dias do período de estudo.	38
Tabela 4. Porcentagem de habitantes para cada região de estudo, de acordo com as faixas etárias analisadas.	40
Tabela 5. Análise descritiva de variáveis meteorológicas na RMC de 2010 a 2014.	48
Tabela 6. Análise descritiva admissões hospitalares mensais, todas as faixas etárias, na RMC de 2010 a 2014.	50
Tabela 7. Análise descritiva das internações hospitalares diárias, para todas as faixas etárias, em Araucária e Curitiba no período de 2010 a 2014.	51
Tabela 8. Número de internações normalizadas em Araucária e Curitiba, por faixas etárias.	52
Tabela 9. Padrão nacional estabelecido pelo CONAMA 03/1990.	55
Tabela 10. Análise descritiva dos poluentes em Araucária para 2010 a 2014.	55
Tabela 11. Análise descritiva dos poluentes em Curitiba para 2010 a 2014.	57
Tabela 12. Correlação de Pearson para as variáveis de estudo em Araucária.	58
Tabela 13. Correlação de Pearson para as variáveis de estudo em Curitiba.	59
Tabela 14. Padrão de concentração de poluentes atmosféricos, recomendado pela OMS.	59
Tabela 15. Análise de Deviance do modelo de Poisson para internações circulatórias, com todas as faixas etárias, em Araucária.	61
Tabela 16. Análise de Deviance do modelo Binomial Negativo para internações circulatórias para todas as faixas etárias, em Araucária.	63
Tabela 17. Análise de Deviance do modelo Binomial Negativo – Internações respiratórias para todas as faixas etárias, em Araucária.	65
Tabela 18. Valores de AIC para os modelos de regressão estudados em Araucária.	66
Tabela 19. Análise de Deviance do modelo Binomial Negativo para internações circulatórias para todas as faixas etárias, em Curitiba.	67
Tabela 20. Valores de AIC para os modelos de regressão estudados em Curitiba.	68

Tabela 21. Análise de Deviance do modelo Binomial Negativo para internações respiratórias para todas as faixas etárias, em Curitiba.....	69
Tabela 22. Resultado do número de AIC e defasagem para cada região de estudo, e cada variável significativa para o modelo de regressão, com todas as faixas etárias.	72
Tabela 23. Valor de χ^2 / gl (Qui quadrado / graus de liberdade) para análises mais significativas em Araucária e Curitiba, com seus respectivos tempos de defasagem.	74
Tabela 24. Resultado do coeficiente de regressão e erro padrão correspondente por faixas etárias para internações circulatórias em Araucária.	75
Tabela 25. Resultado do coeficiente de regressão para doenças respiratórias em Araucária por faixas etárias e erro padrão correspondente.....	76
Tabela 26. Resultado do coeficiente de regressão, erro padrão por faixas etárias e variável significativa e defasagem correspondente para internações circulatórias em Curitiba.	76
Tabela 27. Resultado do coeficiente de regressão, erro padrão por faixas etárias, variável significativa e defasagem correspondente para internações respiratórias em Curitiba.	77
Tabela 28. Risco relativo e intervalo de confiança para todas as faixas etárias e doenças em Araucária.	78
Tabela 29. Risco relativo e intervalo de confiança para todas as faixas etárias e doenças em Curitiba.	79
Tabela 30. Valores de RR utilizados no cálculo de Risco atribuído, para todas as faixas etárias.	80
Tabela 31. Número total de hospitalizações ponderado por 100mil habitantes registradas na RMC, para 2010 a 2014.....	81
Tabela 32. Número de hospitalizações por doenças circulatórias e respiratórias calculadas associadas a concentração de MP ₁₀ e O ₃	82

LISTA DE ABREVIATURAS

AIC	Akaike Information Criterion (Critério de Informação de Akaike).
AIH	Autorização de Internação Hospitalar.
ASS	Assis, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar ASS.
BOQ	Boqueirão, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar BOQ.
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo.
CIAR	Centro Industrial de Araucária.
CID	Classificação Estatística Internacional de Doenças.
CIC	Cidade Industrial Curitiba, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar CIC.
CO	Monóxido de Carbono.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar CSN.
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica.
EPA	United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).
FAC	Função de autocorrelação.
IAP	Instituto Ambiental do Paraná.
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento.
MLG	Modelos Lineares Generalizados.
MP	Material particulado.
MP _{2,5}	Material particulado 2,5 µm.
MP ₁₀	Material particulado 10 µm.
Mbar	Milibar.

NO ₂	Dióxido de Nitrogênio.
O ₃	Ozônio.
OMS	Organização Mundial da saúde (WHO-World Health Organization)
PAR	Ouvidor Pardinho, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar PAR.
PIB	Produto Interno Bruto.
PTS	Partículas Totais em Suspensão.
P _m	Pressão atmosférica média no período estudado.
PRA	Risco atribuível.
RMC	Região Metropolitana de Curitiba.
RPR	REPAR: Refinaria Presidente Getúlio Vargas, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar RPR.
RR	Risco Relativo.
SO ₂	Dióxido de enxofre.
STC	Santa Cândida, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar STC.
SUS	Sistema Único de Saúde.
T _m	Temperatura média no período estudado.
T-T _m	Temperatura média diária correspondente menos a Temperatura média no período estudado.
UEG	Usina Elétrica a Gás, denominação da estação de monitoramento de qualidade do ar UEG.
UR _m	Umidade Relativa média no período estudado.

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Nível de significância
β_i	Coefficientes de regressão
ε	Erro de previsão
μ	Média
μm	Micrometro
η	Preditor linear
X	Variável explicativa do modelo de regressão
χ^2	Estatística de Pearson ou Qui-Quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Poluição do ar e saúde	16
1.2	Estudos epidemiológicos	20
2	OBJETIVOS	23
3	METODOLOGIA E DADOS EXPERIMENTAIS	24
3.1	Local e período de estudo	24
3.1.1	Araucária	26
3.1.2	Curitiba	26
3.2	Dados meteorológicos	27
3.3	Dados de qualidade do ar	28
3.4	Dados de saúde	30
3.5	Estudo epidemiológico	31
3.6	Análise estatística descritiva	32
3.7	Análise estatística de regressão	32
3.7.1	Seleção do modelo de regressão	35
3.7.2	Ajuste do modelo	36
3.7.2.1	Tendências temporais de curto prazo	36
3.7.2.2	Tendências temporais de longo prazo	37
3.7.2.3	Correlação de dados com o tempo	38
3.7.3	Avaliação do ajuste	39
3.7.4	Análise por faixa etária	40
3.8	Risco Relativo	41
3.9	Risco atribuível	42
4	ANÁLISE INICIAL DE ESTUDO	46
4.1	Descrição dos dados meteorológicos	46
4.2	Descrição das admissões hospitalares	49
4.2.1	Admissões hospitalares mensais na RMC	49
4.2.2	Internações hospitalares diárias	51

4.2.3	Distribuição e internações hospitalares por faixa etária	52
4.3	Descrição dos poluentes atmosféricos	52
4.3.1	Poluentes atmosféricos em Araucária.....	52
4.3.2	Poluentes atmosféricos em Curitiba	56
4.3.3	Correlação entre as variáveis	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.1	Seleção do modelo de regressão	60
5.1.1	Internações por doenças circulatórias em Araucária	61
5.1.2	Internações por doenças respiratórias em Araucária	64
5.1.3	Internações por doenças circulatórias em Curitiba.....	66
5.1.4	Internações por doenças respiratórias em Curitiba.....	68
5.2	Ajuste do modelo de regressão	70
5.2.1	Análise de tendências temporais.....	70
5.2.1.1	Dias de semana e feriados	70
5.2.1.2	Sazonalidade.....	71
5.2.1.3	Correlação de dados com o tempo	71
5.2.1.4	Defasagem.....	72
5.3	Avaliação do ajuste	73
5.3.1	Coefficiente de regressão	74
5.4	Risco Relativo.....	77
5.4.1	Risco atribuído a saúde.....	80
5.5	Comentários gerais	83
6	CONCLUSÕES.....	85
7	SUGESTÕES	88
8	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE I.....	96
	APÊNDICE II	97

1 INTRODUÇÃO

A poluição do ar consiste na presença de substâncias no ambiente atmosférico, que em certas concentrações, acabam interferindo na saúde, na segurança e no bem-estar do homem, dos animais, dos vegetais e causando danos materiais (SEINFELD E PANDIS, 1998).

Estima-se que em todo o mundo a poluição do ar seja responsável pela morte de 7 milhões de pessoas por ano. Destes, 4,3 milhões relacionadas à poluição do ar interior, em lares com fogão a carvão, lenha ou biomassa, enquanto que a poluição do ar ambiente é responsável por 3,7 milhões de mortes, de acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde - OMS (WHO, 2014).

Os efeitos adversos à saúde podem ser atribuídos tanto às exposições de curto prazo como de longo prazo, assim como, diferentes poluentes podem causar uma grande variedade de efeitos adversos à saúde (KATSOUYANNI et al., 1996; CAIRNCROSS et al., 2007, KÜNZLI et al., 2010). Além do tempo de exposição outros fatores são importantes nos efeitos à saúde, entre eles o tipo de poluente, tamanho, toxicidade, características físicas e químicas, a frequência e a magnitude da exposição. Os maiores efeitos em geral ocorrem no aparelho respiratório e circulatório em idosos (MORRIS et al., 1995; SALDIVA et al., 1995; CANÇADO et al., 2006; ESQUIVEL et al., 2011), portadores de doenças crônicas pré-existentes, que juntamente com as crianças, compõem o grupo mais vulnerável à poluição do ar (BRAGA et al., 2007; BAKONYI et al., 2004; CASTRO et al., 2007; JASINSKI et al., 2011). As crianças são mais sensíveis por apresentarem sistema imunológico em desenvolvimento, maior taxa de respiração que os adultos, e o pulmão ainda não se encontra totalmente formado (SCHWARTZ, 2004). Os idosos e portadores de doenças crônicas por possuírem o sistema imunológico debilitado e função pulmonar reduzida, além disso já estiveram expostos a grande quantidade de poluentes atmosféricos durante toda sua vida (ARBEX et al. 2012). A maior susceptibilidade de adoecer é influenciada por fatores como idade, genética, hábitos alimentares, estado de saúde e características tanto da habitação como do ambiente externo.

Entre os efeitos negativos da poluição do ar à saúde podemos citar o desenvolvimento de doenças respiratórias, infecções respiratórias, tosse, fadiga, asma, redução da função

pulmonar, irritação de olhos e garganta, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, câncer de pulmão, influência no desenvolvimento do feto e aumento de mortalidade prematura, entre outras (WHO, 1999; JUNGER et al., 2005; WHO, 2006; CANÇADO et al., 2006; LOOMIS et al., 2013; FANG et al., 2013). Estudos recentes revelam uma forte ligação entre a exposição à poluição atmosférica – tanto em ambientes fechados como ao ar livre – e as doenças circulatórias (POLONIECKI et al., 1997; LE TERTE et al., 2002), como acidentes cardiovasculares. No que diz respeito à poluição do ar exterior, 80% das mortes se devem ao agravamento de doenças cardíacas, sendo 40% por Acidente Vascular Cerebral (AVC) e 40% à cardiopatia isquêmica. Entre a mortalidade por doenças respiratórias 11% se deve à Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), 3% a infecções respiratórias agudas em crianças e 6% ao câncer de pulmão (WHO, 2014).

O clima e as condições de tempo influenciam os níveis de concentração dos poluentes, afetando a saúde da população de maneira direta ou indireta (DANNI-OLIVEIRA, 2003). As baixas temperaturas e umidade relativa influenciam diretamente nos efeitos à saúde, e provocam uma atmosfera desfavorável para a dispersão dos poluentes que podem afetar a população de forma indireta devido à grande concentração de poluentes. Os efeitos adversos à saúde causados pelo clima, podem ser agravados com esta poluição do ar, e variam de acordo com a estação do ano (VANOS et al., 2014). Variações na taxa de morbidade e mortalidade também se relacionam com as variações nas concentrações diárias e horárias dos poluentes (FISCHER et al., 2011).

Para estimar os efeitos à saúde, associados com a exposição à concentração de poluentes e variáveis meteorológicas, uma estratégia é a utilização dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) com *splines* paramétricas (ex. *splines* cúbicos naturais) que foram introduzidos por Nelder e Wedderburn (1972), como proposta de expansão aos modelos lineares clássicos. Essa abordagem é amplamente utilizada para analisar as associações dos efeitos à saúde com a poluição do ar (VANOS et al., 2014).

Nos estudos que associam a exposição a poluição atmosférica com eventos em forma de contagem, se analisam as respostas diárias na saúde, tais como internações hospitalares ou mortalidades de um determinado dia, que podem ser adquiridos na base de dados do Sistema Único de Saúde, o DATASUS, com as concentrações diárias de poluentes e variáveis meteorológicas. Desta forma, não é necessário o acompanhamento de um grupo de pessoas

durante o período de estudo, além de ser realizado em menor tempo (SCHWARTZ et al., 1996). Nestes estudos epidemiológicos, o fator de risco não varia de um dia para outro, sendo usual o estudo do efeito da exposição em até sete dias após a pessoa ter sido exposta à poluição (TADANO, 2007; FISCHER et al., 2011).

Atualmente, a poluição do ar é um dos principais riscos ambientais para a saúde no mundo (WHO, 2014), portanto, estudos científicos sobre o assunto são relevantes. Os resultados destes estudos possibilitam estimar os impactos à saúde da população causado pelos poluentes que contribuem de forma negativa e direcionar os custos na prevenção dos impactos, além de fornecerem subsídio para elaboração de políticas e normas reguladoras para diminuição das emissões e concentrações dos poluentes atmosféricos (GURJAR et al., 2010).

1.1 Poluição do ar e saúde

A poluição do ar compreende uma mistura de vários elementos e compostos, porém, somente alguns são regulamentados, e conseqüentemente monitorados. Os poluentes interagem com o meio podendo se comportar de diferentes maneiras dependendo de variáveis meteorológicas e da interação e reação com outros poluentes presentes. Entre os poluentes mais comumente encontrados estão o O₃, CO, NO₂, SO₂ e MP.

A qualidade do ar depende das emissões, das condições meteorológicas, das taxas de reações químicas e deposição. O empobrecimento da qualidade do ar leva além do impacto a saúde humana, à acidificação dos meios, eutrofização de rios, lagos e oceanos, danos ao ecossistema e meio ambiente.

A boa qualidade do ar é imprescindível para o bem-estar humano, sendo um requisito básico da saúde humana (WHO, 2006). Este tipo de poluição ambiental é causa de aumento de morbidade e mortalidade, com risco para toda a população, pois qualquer pessoa pode vir a estar exposta a estes contaminantes. A exposição à poluição do ar depende da proximidade das fontes de emissão, da existência de barreiras físicas entre o meio atmosférico e o receptor, das atividades físicas realizadas em presença dos poluentes, já que a quanto maior o esforço, aumenta a taxa de respiração e a dose recebida pela pessoa.

Os principais efeitos causados à saúde humana, por cada poluente, reportados pela OMS, se encontram na Tabela 1. Estes efeitos dependem de uma série de fatores como tempo de duração à exposição do poluente, a magnitude e a frequência da exposição, tipo e tamanho do poluente, tipo de atividade que a pessoa exerce e o local de moradia, de trabalho e susceptibilidade do indivíduo (WHO, 1999).

O nível de profundidade onde ocorre a deposição do poluente no trato respiratório se encontra na Figura 1. Quanto menor o tamanho da partícula, o poluente ingressa mais profundamente no sistema respiratório. O grau de absorção do poluente atmosférico também está relacionado com sua solubilidade em água, quanto mais insolúvel, maior o nível de penetração destes poluentes no trato respiratório (KÜNZLI et al., 2010).

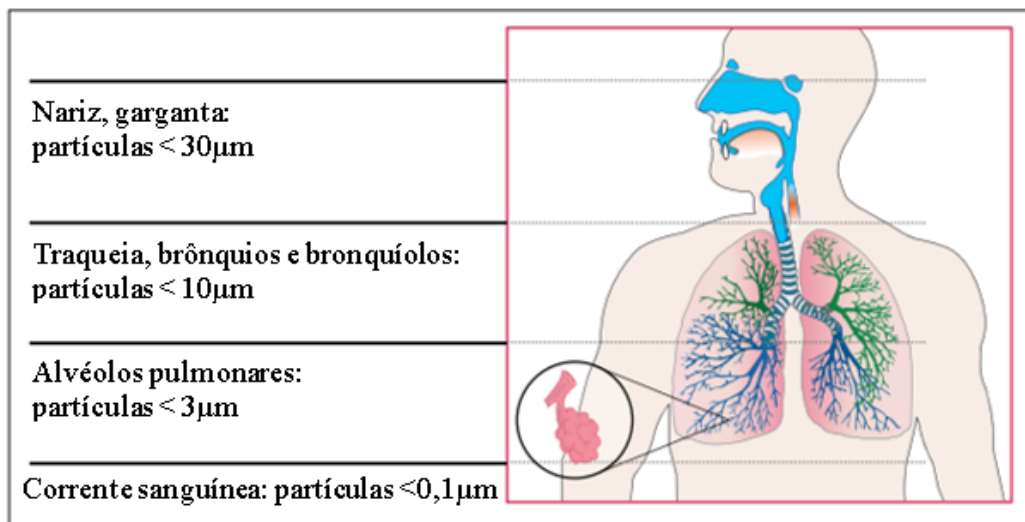


Figura 1. Nível de deposição dos poluentes no sistema respiratório.

Fonte: Adaptado de KÜNZLI et al. (2010).

As partículas maiores que $30\ \mu\text{m}$ geralmente são retidas pelo nariz, boca ou garganta, partículas menores que $10\ \mu\text{m}$, assim como o SO_2 , NO_2 e O_3 , tendem a ser depositados nas vias aéreas superiores, na traqueia, brônquios e bronquíolos. Partículas de até $3\ \mu\text{m}$ se depositam geralmente nos alvéolos pulmonares, assim como o NO_2 e O_3 , e as partículas conhecidas como ultrafinas, que são menores que $0,1\ \mu\text{m}$, e se depositam em tecidos pulmonares e podem atingir a corrente sanguínea. Os efeitos individuais de cada poluente se encontram no Quadro 1, assim como, as características e fontes de cada poluente.

Quadro 1. Principais fontes dos poluentes estudados e seus efeitos à saúde

Poluente / Características e fontes	Efeitos a saúde
<p>CO: o monóxido de carbono é um gás tóxico, incolor, insípido, inodoro. Fontes: Queima incompleta de combustíveis fósseis, de biomassa, biocombustíveis, queima de lixo agrícola ou qualquer derivado do carbono, processos industriais como siderúrgicas, processos de fundição, craqueamento catalítico, entre outros. A maior contribuição se deve ao tráfego intenso. Geralmente se produz quando há baixas concentrações de O₂.</p>	<p>Pode ser combinado facilmente com a hemoglobina e interfere na capacidade de oxigenação do sangue atuando como asfixiante sistêmico, prejudicando a acuidade visual, a atividade mental e retardamento dos reflexos, podendo causar a morte, inclusive em exposições com baixas concentrações. (ARTAXO, 1991; TADANO, 2012; EPA, 2015)</p>
<p>SO₂: é um gás altamente reativo. Fontes: Queima de combustíveis fósseis em usinas de energia, processos industriais como refinarias de petróleo, metalúrgicas, fábrica de papel, atividade vulcânica, fontes menores incluem extração de minérios, uso de combustíveis em veículos a diesel e com alto teor de enxofre como em locomotivas e navios (EPA, 2015).</p>	<p>Efeitos agudos: irritação nos olhos, nariz, garganta e trato respiratório, tosse, enfraquecimento da função pulmonar e aumento da frequência de ataques em asmáticos. Efeitos crônicos: aumento em bronquite crônica e agravamento de doenças cardiovasculares. Doenças respiratórias em crianças e aumento de morbidade para todas as idades, internações por doenças cardíacas e aumento de mortalidade prematura. (ARTAXO, 1991; TADANO, 2012).</p>
<p>NO₂: é um gás tóxico, reagente oxidante, corrosivo e altamente reativo. A soma dos NO₂ e NO é comumente chamada de NO_x, óxidos de nitrogênio. Fontes: Reação do NO com O₃, emitido. A maior parte do NO₂ atmosférico se emite em forma de NO que se oxida rapidamente a NO₂ pela ação do ozônio. O NO₂ na presença de hidrocarbonetos e luz ultravioleta constitui a principal fonte de ozônio troposférico e de aerossóis de nitratos que também constituem uma fração importante da massa de MP_{2,5} do ar. Outras fontes: queimas de combustíveis a altas temperatura, em especial procedentes de veículos, indústrias de ácido nítrico e sulfúrico, usinas térmicas e descargas elétricas na atmosfera.</p>	<p>Em exposições agudas: irritação de olhos, nariz e garganta, redução da função pulmonar e aumento de infecções respiratórias em crianças, enfisema e edema pulmonar, bronquite e agravamento de doenças respiratórias (EPA, 2015). Exposições crônicas: redução capacidade pulmonar em crianças, aumento a susceptibilidade a infecções virais, irritação das vias respiratórias e pulmões, agravando quadros de bronquites, enfisemas e doenças cardíacas existentes (ARTAXO, 1991). Aumentam frequência de bronquites crônicas, tosse e expectoração. Aumento de internações hospitalares e da mortalidade prematura. É um bom marcador da poluição veicular (ARBEX, 2012).</p>
<p>O₃: ozônio troposférico é um gás incolor e inodoro conhecido como partícula secundária e altamente reativo. Fontes: O₃ não é emitido diretamente na atmosfera, mas se forma por reações fotoquímicas entre seus precursores, NO_x e COVs, na presença de luz solar. A remoção ocorre por reações com o NO_x e deposição no solo. Possui comportamento sazonal com picos de concentrações no verão e em horários diurnos devido a maior incidência de radiação solar.</p>	<p>Irritação de olhos, mucosa nasal e faringe, provoca tosse, redução da função pulmonar em pessoas asmáticas, inflamação e obstrução das vias respiratórias, o que provoca alterações de rendimento e aumento de morbidade respiratória em crianças.</p>

As fontes antrópicas de NO _x e COVs incluem veículos e indústrias químicas.	
<p>MP₁₀: partículas inaláveis. O MP₁₀ está constituído por uma mistura de partículas sólidas e/ou líquidas suspensas no ar. São as partículas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual do que 10 µm.</p> <p>Fontes: Queima de biomassa e de combustíveis (especialmente diesel), ressuspensão do solo, de ruas e estradas, atividades agrícolas, construções, emissões vulcânicas, sais marinhos, pólen (WHO, 2006). Sua composição física e química depende da fonte, localização e das condições meteorológicas.</p>	<p>O MP₁₀ é depositado na região superior do aparelho respiratório, provoca irritação de olhos, nariz e garganta, infecções respiratórias, bronquite e câncer de pulmão. Os efeitos dependem do tamanho da partícula, e exposições agudas provocam problemas cardiovasculares especialmente quando associados a compostos inorgânicos, como traços de metais. Pode causar câncer. Sua toxicidade depende dos compostos químicos presentes em sua composição em especial sulfatos, nitratos, ácidos e metais.</p>

Estudos mais recentes indicam que a poluição do ar também está associada ao aumento de casos de crianças com leucemia e câncer no cérebro, pois as partículas mais finas atingem rapidamente o cérebro ao serem inspiradas (KÜNZLI et al., 2010). Além disso, estão associadas ao aumento de aterosclerose em adultos (HOFFMANN et al., 2007), aumento da pressão sanguínea, devido a incremento nas concentrações de MP e CO (DE PAULA et al., 2005; BROOK, 2007). É necessário destacar que existem muitos efeitos relacionados a poluição atmosférica que ainda devem ser estudados com maior profundidade, pois os sintomas não são claros, e estamos expostos a uma mistura complexa de compostos.

Os poluentes tais como as partículas, reduzem a atividade mucociliar e de macrófagos nas mucosas, produzem um estresse oxidativo e conseqüente irritação do sistema respiratório. Os oxidantes presentes no MP, O₃ e NO_x, levam à formação de radicais livres de oxigênio e de nitrogênio, que provocam a inflamação, não apenas do sistema respiratório, mas também do sistema sistêmico, afetando o organismo como um todo (ARBEX et al., 2012). Mudanças no sistema nervoso autônomo e aumento de fatores inflamatórios no sangue são também responsáveis pela relação entre doenças circulatórias e a poluição do ar (DE PAULA et al., 2005).

1.2 Estudos epidemiológicos

Investigações experimentais e epidemiológicas são as principais ferramentas para o entendimento dos efeitos à saúde causados pela poluição do ar (KÜNZLI, 2010). A epidemiologia se define como a ciência que estuda a distribuição de fatores relacionados à saúde ou condições associadas à saúde (doenças, mortalidade, hábitos de vida como tabagismo, dieta) em determinados grupos de indivíduos. Estes estudos visam propor medidas de prevenção, controle ou erradicação de doenças servindo de base para programas de saúde. Os estudos epidemiológicos se classificam em experimentais (ensaios clínicos, ensaios de comunidade) e observacionais (relato ou séries de casos, estudo transversal, ecológico, coorte, caso-controle), e podem ser analíticos e descritivos.

Estudos experimentais ou de intervenção, são aqueles onde o pesquisador manipula o fator de exposição e provoca de forma intencional alguma modificação na saúde dos indivíduos. Se baseiam na exposição de pessoas, plantas ou animais a poluentes específicos sob condições controladas, permitem entender o comportamento fisiológico, sintomas, níveis tolerados e podem ser posteriormente estandardizados ou legislados. Possui a limitação de ser estudado um ou alguns poluentes de cada vez, sendo que no ar ambiente se encontra uma complexa mistura de poluentes, estas análises dificilmente chegam a desfecho crônico.

Estudos observacionais descritivos determinam a distribuição e condições relacionadas a saúde. Este método analisa como a incidência (casos novos) ou a prevalência (casos existentes) de uma doença ou determinada condição. Está relacionada à saúde de acordo com certas características como sexo, idade, escolaridade, renda, etc. Neste estudo se analisam dados secundários (internações, mortalidade) e dados primários (os que são coletados para desenvolvimento do estudo). Em estudos analíticos se examina a existência de associação entre a exposição e uma doença ou condição relacionada a saúde. Entre os principais estudos deste tipo estão: estudos ecológicos, painel, caso-controle (caso-referencia) e coorte (prospectivo) (LIMA-COSTA E BARRETO, 2003). A vantagem dos estudos observacionais se deve a que podem ser estudados uma grande variedade de desfechos e exposições, podem ser direcionados a efeitos agudos ou crônicos, são versáteis e podem identificar facilmente subgrupos mais ou menos suscetíveis. Todos os tipos de estudos utilizam os modelos estatísticos de regressão em sua análise de dados, no entanto, o modelo é distinto para cada tipo de estudo.

Nos estudos de coorte se identifica a população de estudo, dividindo os participantes entre não expostos e expostos à variável de interesse, com alguma característica individual em comum. É avaliado se a exposição do indivíduo a um certo fator de risco apresenta uma maior probabilidade de se desenvolver determinada doença ao comparar com indivíduos que não foram expostos a esse fator de risco. As vantagens deste tipo de estudo é que se podem estudar várias doenças, exposições raras e estão pouco sujeitas a vieses, podem ser avaliados os efeitos da exposição a longo prazo. As desvantagens são a perda de participantes, altos custos de seguimento, são investigadas poucas exposições, longo período para serem concluídos e não é adequado para doenças raras (POPE et al., 2004).

Nos estudos de painel há um seguimento longitudinal prospectivo do grupo (painel) de indivíduos por um determinado período de tempo. São estudos de curto prazo, onde os efeitos da poluição atmosférica na saúde são associados com alguma doença, é mais efetivo em casos suscetíveis (idosos, crianças, e pessoas com doenças crônicas pré-existentes). São necessárias várias medidas repetidas de dados de saúde antes e depois da exposição. Neste estudo cada indivíduo é seu controle. Estudos de painel assim como os de caso-cruzamento tem a vantagem de considerar características individuais dentro do grupo. Este tipo de estudo é mais eficiente em efeitos agudos e para encontrar subgrupos mais suscetíveis, a desvantagem se encontra no período entre a exposição e o efeito da mesma no grupo de estudo (defasagem), dificuldade em determinar o controle em presença de sazonalidade, a coleta requer alta qualidade de dados (CASTRO et al., 2009).

Estudos caso-controle (caso-referência) assim como os de coorte tem um mesmo objetivo e podem ser utilizados para investigar se a exposição a um determinado fator está associada ao desenvolvimento da doença sob estudo, comparando proporção de expostos. Se aplica a avaliação de ações e serviços de saúde. Se identificam os indivíduos com a doença (casos) e, se compara com os indivíduos sem a doença (controles), através de entrevistas ou consulta a prontuários se determina a proporção (odds) da exposição entre Casos e Controles. Os casos e os controles devem ser provenientes da mesma população, e não é necessário que todos sejam incluídos no estudo. Os pareamentos podem ser selecionados de acordo com faixa etária, gênero, raça ou características semelhantes, entre outros. Possuem menor tempo de estudo, uma vez que a seleção dos participantes é feita após o aparecimento da doença, custos mais baixos, maior eficiência para doenças raras, ausência de riscos para participantes, não requer grande número de participantes, possibilidade de investigação simultânea de vários

fatores de risco. Por outro lado, este tipo de estudo tem a limitação de que a seleção do período de referência é mais difícil, não é apropriado para exposições raras, estão sujeitos a erros sistemáticos: de seleção, de memória (informação sobre a exposição), e não permite o cálculo de incidência. A diferença entre este estudo e o de coorte é a maneira de selecionar e coletar informações dos indivíduos. É muito utilizado nas áreas de etiologia, eficácia de vacinas, rastreamentos ou tratamentos. São utilizados dados de informação passada, por isso são denominados retrospectivos (NEUPANE et al., 2010).

Em estudos ecológicos se comparam as ocorrências de doenças/condições relacionadas à saúde e à exposição de interesse de uma população para verificar se há associação entre elas. A comparação é feita entre grupos e não entre indivíduos. Não há informação nestas análises sobre a doença e exposição do indivíduo, mas do grupo populacional como um todo. Entre as vantagens estão: possibilidade de examinar associações em coletividades, baixo custo, são rápidos, não são necessárias medidas individuais de exposição (BAKONYI et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2006). Podem ocorrer problemas de ambiguidade temporal que pode ser controlado pelo uso da estrutura de defasagem, colinearidade quando há grande correlação entre as variáveis e migração entre grupos. Com base em estudos ecológicos se definem políticas públicas e planejamento de programas de saúde. Os efeitos de características individuais não são considerados, pois se aplicam a um grande número de indivíduos (município, país). A vantagem dos estudos de series temporais é o menor custo e menor tempo de investigação além de ser aplicado a uma grande população e grandes bases de dados públicas, são confiáveis e podem ser base de outros estudos em diferentes locais, utilizando o mesmo método. A série de dados deve estar completa, é necessário controle contínuo. São aplicados em epidemiologia ambiental, podem avaliar efeitos agudos. As desvantagens se encontram na dificuldade do controle de sazonalidade e tendências, sendo que os resultados dependem da defasagem (*lag*) do sintoma em relação à exposição. Este tipo de estudo foi o utilizado neste trabalho para avaliação das associações entre as variáveis e cálculo do risco relativo.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é determinar o risco relativo à saúde da população da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) atribuído à exposição das concentrações dos poluentes CO, O₃, SO₂, NO₂, MP₁₀ e variáveis meteorológicas. Como objetivos específicos destacam-se:

- Analisar os dados de concentração de poluentes, saúde e de variáveis meteorológicas das estações do IAP, SIMEPAR e INMET, localizadas na RMC no período de 2010 a 2014.
- Encontrar um modelo de associação das concentrações diárias de CO, O₃, SO₂, NO₂, MP₁₀, e as variáveis meteorológicas: temperatura, umidade relativa e pressão com as internações diárias por doenças circulatórias e respiratórias em Araucária e Curitiba utilizando modelos de regressão com distribuição de Poisson e Binomial Negativa.
- Estimar o risco relativo (RR) para doenças cardiorrespiratórias a partir do modelo de associação obtido, para as faixas etárias de 0 a 9 anos, 10 a 19, 20 a 64, idosos maiores de 64 anos e todas as faixas etárias.
- Calcular a proporção do risco atribuído à população da RMC pela exposição aos poluentes estudados.

3 METODOLOGIA E DADOS EXPERIMENTAIS

3.1 Local e período de estudo

O estudo foi realizado na RMC e nos municípios de Araucária e Curitiba, totalizando um período de cinco anos, de 01/01/2010 a 31/12/2014. A RMC é constituída por 29 municípios, possui uma população de 3.223.836 habitantes (IBGE, 2010), concentrando 30,86% da população do estado, em uma área de 16.582 km² e, apresenta Índice de Desenvolvimento Humano de 0,69 (IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010). A Figura 2 ilustra a localização da RMC e seus municípios, com destaque para Curitiba e Araucária.

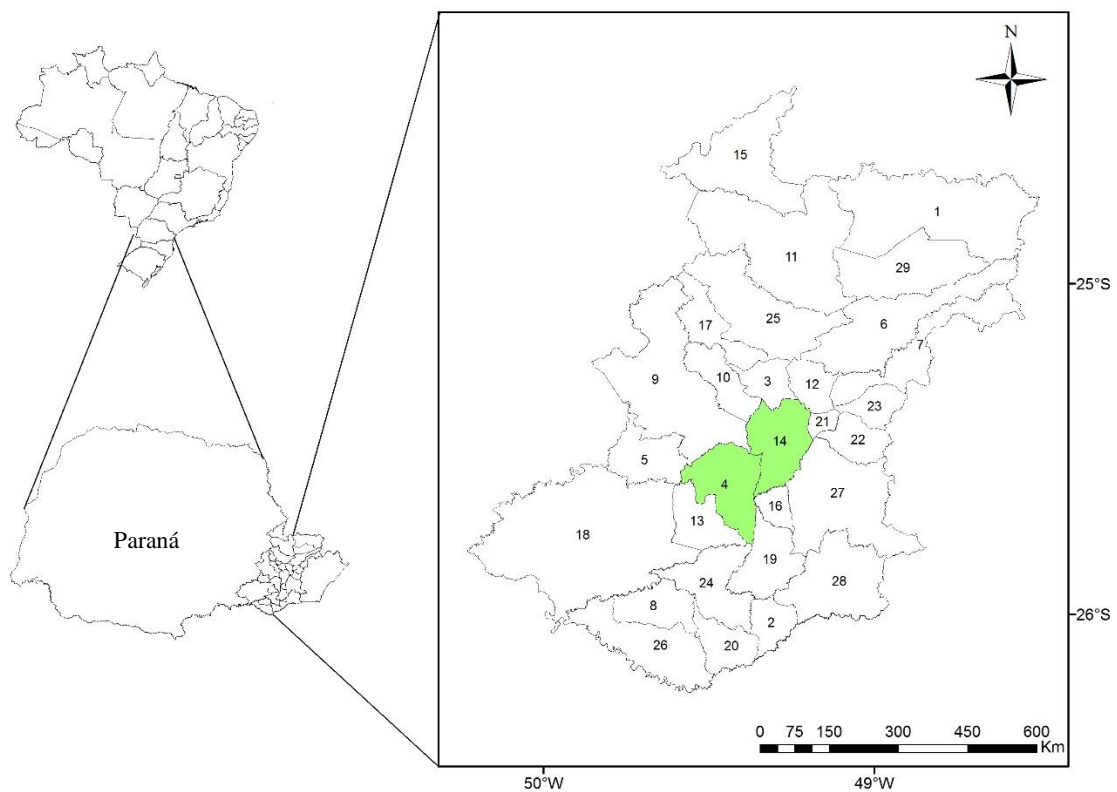


Figura 2. Localização da área de estudo: RMC e seus municípios, Araucária (Nº 4) e Curitiba (Nº 14).

A RMC é constituída pelos seguintes municípios (Figura 2): 1-Adrianópolis, 2-Agudos do Sul, 3-Almirante Tamandaré, **4-Araucária**, 5-Balsa Nova, 6-Bocaiúva do Sul, 7-Campina Grande do Sul, 8-Campo do Tenente, 9-Campo Largo, 10-Campo Magro, 11-Cerro Azul, 12-Colombo, 13-Contenda, **14-Curitiba**, 15-Doutor Ulysses, 16-Fazenda Rio Grande, 17-Itaperuçu, 18-Lapa, 19-Mandirituba, 20-Piên, 21-Pinhais, 22-Piraquara, 23-Quatro Barras, 24-Quitandinha, 25-Rio Branco do Sul, 26-Rio Negro, 27-São José dos Pinhais, 28-Tijucas do Sul, 29-Tunas do Paraná.

Esta região se localiza no primeiro Planalto do Estado do Paraná e no sul do Brasil (Figura 2) constituindo uma das regiões mais desenvolvidas do país. Possui um clima subtropical e úmido (IAP, 2012). Os invernos são amenos, podendo ocorrer geadas, caracterizados por um clima um pouco mais seco no inverno, se comparado com o verão, proporcionando condições desfavoráveis para a dispersão de poluentes. As precipitações apesar de ocorrerem durante o ano inteiro, no verão ocorrem com maior intensidade. A umidade relativa média, no período estudado, é de 83% aproximadamente, e a temperatura média de 17°C. A direção predominante dos ventos é de leste.

Curitiba possui um alto Índice de Desenvolvimento Humano, 0,823 e se encontra na 10ª melhor posição do país, maior que a média do Brasil IDH=0,727. A economia da RMC se caracteriza por ser diversificada, contendo regiões industriais, centros urbanos, e bairros o que favorece a presença de fontes móveis e fixas de poluição atmosférica. O Produto Interno Bruto (PIB), atingiu o valor de R\$ 95 bilhões no ano de 2010, correspondendo a 44% do PIB do estado do Paraná (IBGE, 2010).

A frota veicular da RMC é composta por 2.285.650 veículos (DENATRAN – 08/2010) e possui 36% da frota veicular do estado do Paraná, sendo que 46% destes são movidos a gasolina, 36% são do tipo flex (etanol e gasolina), 8% diesel e 5% álcool, entre outros, sendo uma das principais fontes de poluição do ar na região. A maior parte desta frota, 32% é composta por veículos novos, considerando o ano de 2010 (IAP, 2013).

De acordo com o inventário oficial estadual de emissões de poluentes, a RMC é responsável por 31% das emissões por fontes fixas e 28% das emissões móveis no estado (IAP, 2013). Na RMC há uma predominância de emissões industriais para MP, SO_x e NO_x, enquanto para CO as veiculares são a principal fonte. No entanto, esta situação é oposta para Curitiba, onde predominam as emissões veiculares para os poluentes SO_x, CO e NO_x; e apenas para o

MP a emissão industrial ainda é maior que a veicular. Este padrão de responsabilidade das fontes de emissões é devido ao tamanho da frota veicular do município de Curitiba, da qual é a maior do estado, enquanto que o município de Araucária possui o maior polo industrial constituído de refinarias, petroquímicas, siderúrgicas, fábricas de fertilizantes, madeireiras e agroindústrias (COMEC, 2015).

3.1.1 Araucária

O município de Araucária possui 119.123 habitantes (IBGE, 2010), com PIB de R\$12,3 milhões e um alto grau de urbanização de 92,5% (PNUD, 2010). A partir de década de 70, com a instalação da Refinaria Presidente Getúlio Vargas e com a criação do CIAR (Centro Industrial de Araucária), houve um acelerado crescimento populacional e econômico no município, posicionando hoje esta região como principal polo industrial do estado e um dos mais importantes do sul do país.

Com o rápido crescimento e a grande concentração de indústrias, houve a necessidade da instalação da rede de monitoramento da qualidade do ar, que teve início em Araucária em 1985, sendo que as primeiras estações foram do tipo manual e a partir do ano 2000 teve início o funcionamento das estações automáticas.

3.1.2 Curitiba

É a capital do Paraná, conhecida mundialmente como Capital Ecológica e Cidade Sustentável, com 1,75 milhões de habitantes (IBGE, 2010), possui IDH de 0,823 (PNUD, 2010) ocupando o 10º lugar no país. No ano de 2012, seu PIB foi de R\$ 59,1 bilhões o que representou 1,35% da economia nacional.

A partir da década de 60, com a industrialização houve grande crescimento demográfico, e a partir da década de 70, com o planejamento urbano ficou conhecida como modelo em gestão urbana, meios de transporte coletivo e meio ambiente.

3.2 Dados meteorológicos

Os dados das variáveis meteorológicas foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possui uma estação em Curitiba, e do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) que possui três estações na RMC.

As estações do SIMEPAR (Fig. 3 – Pontos 10-12) se encontram nos municípios de Curitiba (lat. 25,448° S, long. 49,230° W), Lapa (lat. 25,783° S, long. 49,766° W) e Pinhais (lat. 25,416° S, long. 49,133° W), de acordo com a Figura 3 e a estação do INMET (Fig.3 - Ponto 9) localiza-se em Curitiba (lat. 25,43° S, long.49,26° W).

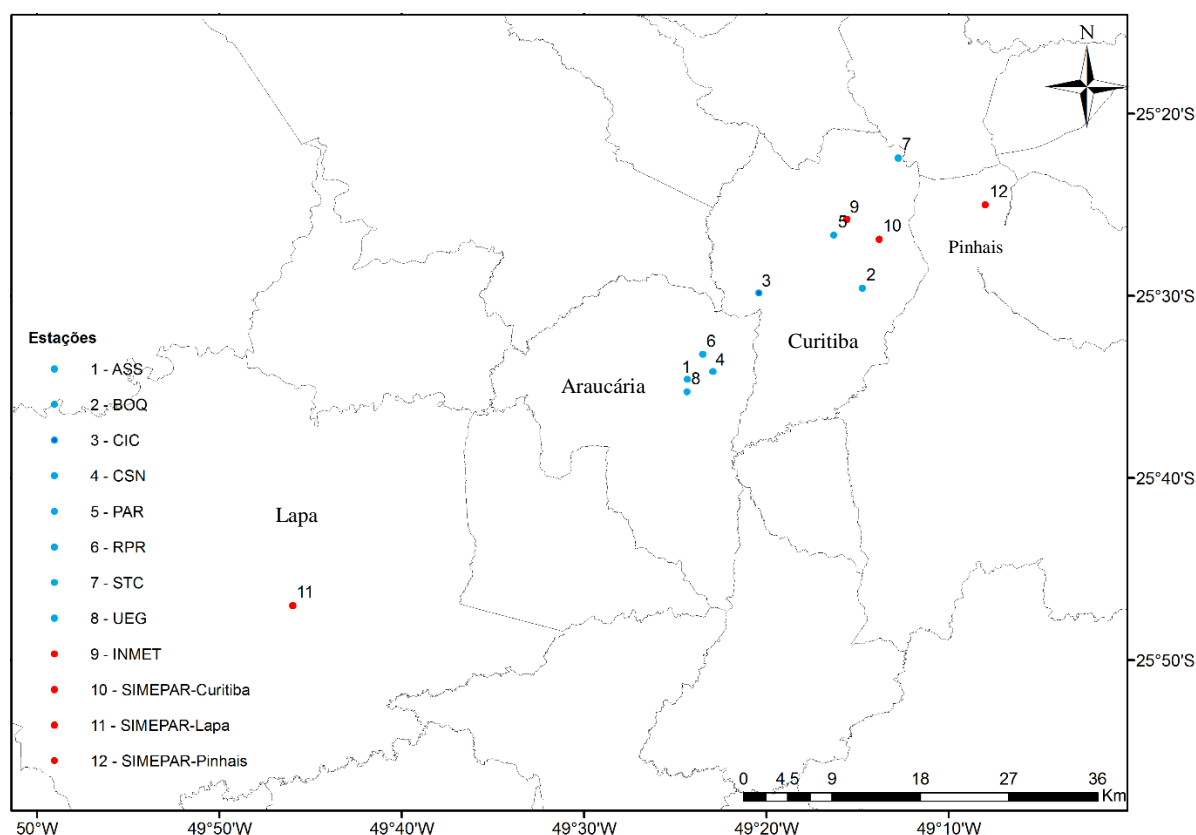


Figura 3. Localização das estações de qualidade do ar e de variáveis meteorológicas.

Para realização da análise de caracterização climatológica da RMC foram utilizados dados mensais de temperatura, umidade relativa, pressão, precipitação e velocidade e direção do vento da estação do INMET em Curitiba, no período de 1961 a 2014.

Na análise estatística de regressão, durante o período de estudo, foram analisados dados diários de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica das quatro estações estudadas. Também foi analisada a direção e velocidade do vento horária das três estações do SIMEPAR, na RMC. Para a análise das condições meteorológicas no período de 2010 a 2014, dados mensais obtidos a partir dos dados diários e horários foram utilizados e comparados com a climatologia.

3.3 Dados de qualidade do ar

O monitoramento da qualidade do ar na RMC teve início em 1985 no município de Araucária, atualmente são 12 estações de amostragem do ar, das quais oito são automáticas (IAP, 2012) e estão localizadas nos municípios de Curitiba e Araucária. Neste estudo estão sendo utilizados os dados das estações automáticas que monitoram as concentrações dos poluentes SO₂, NO₂, O₃, CO, MP₁₀ e PTS no período de 2010 a 2014.

As concentrações horárias dos poluentes foram fornecidas pelo Instituto Lactec para as oito estações automáticas. A partir dos valores horários foram calculadas as concentrações médias diárias para análise de regressão, e concentrações anuais dos poluentes para análise de risco atribuído.

Foram validadas e analisadas as concentrações dos poluentes medidos em cada estação, que atenderam o seguinte critério de representatividade (CETESB, 2013):

- Média diária: 2/3 das médias horárias válidas no dia;
- Média mensal: 2/3 das médias diárias válidas no mês;
- Média anual: 1/2 das médias diárias válidas para os quadrimestres janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro.

Para calcular a média diária de concentração do poluente, são necessárias que pelo menos 2/3, ou seja, 16 medições horárias sejam válidas. Por exemplo, se estão disponíveis

menos do que 16 dados horários, então a concentração diária não será calculada e se forma uma lacuna naquele dia. Portanto devem ser validadas as médias diárias para o cálculo das concentrações médias mensais de cada poluente atmosférico, para calcular as médias anuais é necessário que previamente sejam validadas as médias mensais.

Os poluentes estudados em cada estação, de acordo com o critério de representatividade estabelecido, assim como a localização das estações e a categoria predominante de ocupação da região da estação se encontram na Tabela 1.

Fonte: Adaptado de IAP, 2012

Tabela 1. Estações de monitoramento, poluentes analisados, localização e categoria de cada estação.

Estação	Poluente analisado	Localização / Categoria
1 Assis (ASS)	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ e PTS	Araucária / Industrial
2 Boqueirão (BOQ)	SO ₂ , O ₃ , CO, PTS e MP ₁₀	Curitiba / Bairro
3 Cidade Industrial (CIC)	NO ₂ e CO	Curitiba/ Industrial
4 Companhia Siderúrgica Nacional (CSN)	SO ₂ , O ₃ e NO ₂	Araucária/ Bairro Central-Industrial
5 Ouvidor Pardinho (PAR)	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , PTS e MP ₁₀	Curitiba/ Bairro Central
6 Repar (RPR)	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, PTS e MP ₁₀	Araucária/ Industrial
7 Santa Cândida (STC)	SO ₂ , O ₃ e NO ₂	Curitiba / Bairro
8 Usina Elétrica a Gás (UEG)	SO ₂ , O ₃ e NO ₂	Araucária/ Bairro Central-Industrial

A estações de ASS, CSN, RPR e UEG se localizam no município de Araucária enquanto que BOQ, CIC, PAR e STC se encontram em Curitiba. A estação de RPR localizava-se na Refinaria Presidente Getúlio Vargas em Araucária e no ano de 2012 foi relocada para o bairro Fazenda Velha, no mesmo município.

Esta configuração do local das estações de qualidade do ar se deve ao fato que Curitiba é o município que possui a maior frota de veículos do Paraná e o município de Araucária possui o maior polo industrial do estado. Desta forma são monitorados os locais onde se encontram as maiores fontes fixas e móveis de poluentes do estado do Paraná.

De acordo com a Diretiva Europeia 1999/30/CE, estas estações devem cobrir 3 regiões de impacto (IAP, 2012):

- Região Industrial: onde se esperam maiores concentrações de poluentes, por fontes fixas.
- Região Central: se esperam maior emissão de poluentes por fontes móveis, tais como veículos.
- Bairro: local de moradia da maior parte da população e onde se espera uma menor concentração de poluentes.

Neste estudo foi considerado como material particulado apenas o MP_{10} , apesar das partículas menores apresentarem maior impacto à saúde devido ao menor tamanho, já que ingressam nas vias respiratórias podendo alcançar o nível sanguíneo pelo seu tamanho (POPE et al., 2004; WHO 2006; MARTINS et al. 2010; FANG et al., 2013). As análises foram realizadas com as concentrações dos poluentes que são monitorados pelas estações automáticas disponíveis no período e que atenderam aos critérios de representatividade acima mencionados.

3.4 Dados de saúde

Os dados de saúde foram obtidos através da plataforma online do Sistema Único de Saúde (SUS), o DATASUS (<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>) que disponibiliza de forma pública as informações de saúde, como por exemplo, os dados de internações efetivadas em hospitais públicos ou privados que participam do SUS e são notificadas através de preenchimento da Autorização de Internação Hospitalar (AIH).

Foram compilados dados mensais de internações por doenças do sistema circulatório e respiratório para todas as faixas etárias para todos os municípios da RMC com dados disponíveis para o período de 2010 a 2014. Os dados mensais foram utilizados para o cálculo da PRA na RMC.

Para a análise de regressão, foram compilados dados diários de internações pelas mesmas classes de doenças apenas para Araucária e Curitiba. A análise da regressão e cálculo do risco relativo está sendo restringida a estas duas cidades, pois as estações de qualidade do ar, com dados disponíveis estão localizadas nestes municípios.

As doenças se enquadram de acordo com a Classificação Internacional de Doenças (CID-10) e Problemas Relacionados à Saúde estabelecida pela Organização Mundial de Saúde. A CID-10 visa a padronização e categorização de doenças e problemas a saúde através de códigos de classificação das doenças e também de sintomas relacionados. Doenças do sistema respiratório se encontram no capítulo X do CID-10 e pertencem a categoria J00-J99 (Banco de saúde, 2015), entre elas se encontram: influenza e pneumonia (J-09 a J-18), bronquite aguda e bronquiolite aguda (J-20 e J-21), bronquite enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônica (J-40 a J-44), asma (J-45), entre outras. Entre as doenças circulatórias, capítulo IX do CID-10, que pertencem a categoria I00-I99, se encontram: acidente vascular cerebral isquêmico transitório e síndromes correlativas (I-64), infarto agudo do miocárdio (I-121), outras doenças isquêmicas do coração (I-20 a I25), transtornos de condução e arritmias (I-45 a I-49). Foram utilizadas nesta análise, todas as doenças do Capítulo IX e X.

Os dados mensais de internações circulatórias e respiratórias foram obtidos para 24 municípios da RMC: Almirante Tamandaré, Araucária, Balsa Nova, Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo do Tenente, Campo Largo, Cerro Azul, Colombo, Contenda, Curitiba, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Lapa, Mandirituba, Piên, Pinhais, Piraquara, Quitandinha, Rio Branco do Sul, Rio Negro, São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná, sendo que para os demais municípios não haviam registros disponíveis.

3.5 Estudo epidemiológico

Neste trabalho foi realizado o estudo observacional analítico utilizando o modelo ecológico de séries temporais devido ao menor tempo e a disponibilidade dos dados de saúde, concentração de poluentes atmosféricos e dados meteorológicos.

Os dados gerais da população se associam a variação nos níveis de exposição (poluição atmosférica) com variações em taxas de doenças (internação hospitalar ou de mortalidade) periódicas. Se analisam as respostas diárias dos níveis de exposição e os dados de saúde obtidos das Secretarias de Saúde de cada região ou da plataforma online do DATASUS, o que promove uma grande vantagem ao não ter que realizar o seguimento dos indivíduos de estudo, poupando

tempo e possibilidade de utilização de grandes bancos de dados (SCHWARTZ et al., 1996). O fato de serem utilizados dados diários, faz com que determinados fatores (tais como genética, pessoas fumantes, nível educacional, peso, etc.) não influenciem no modelo, pois eles não variam de dia para dia.

Em estudos epidemiológicos, o modelo inicialmente utilizado era a regressão linear simples, para determinar a relação entre a variável resposta e a variável explicativa. A utilização dos modelos lineares indica que os dados devem possuir uma distribuição normal, e foi muito utilizado antes do surgimento dos modelos lineares generalizados (ALVARENGA, 2013). Nos casos em que se relacionam a poluição do ar com a saúde, isto nem sempre ocorre já que estas relações não ocorrem de forma linear, sendo que atualmente os modelos mais utilizados são o Modelos Lineares Generalizados (NELDER E WEDDERBURN, 1972; JASINSKI et al., 2011; GUIMARÃES, 2012; LAZZARI, 2013; VANOS et al., 2014) e o Modelos Aditivos Generalizados (SCHWARTZ et al., 1996; CONCEIÇÃO et al., 2001; BAKONYI et al., 2004).

3.6 Análise estatística descritiva

A análise estatística descritiva consistiu na análise exploratória dos dados, que foi realizada com auxílio de técnicas gráficas para caracterização da região de estudo.

Foram calculadas também as medidas de posição e de dispersão tais como valores máximo, mínimo, média aritmética, mediana, desvio padrão e correlação de Pearson entre as concentrações de poluentes, variáveis meteorológicas e internações por doenças respiratórias e circulatórias para o período de 2010 a 2014. O programa utilizado para as análises estatísticas foi o software R versão 3.1.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

3.7 Análise estatística de regressão

A análise de regressão é uma técnica estatística cujo objetivo é encontrar um modelo e investigar a relação entre uma variável Y (dependente ou resposta) e duas ou mais variáveis

X (independentes ou explicativas) que melhor se ajustem aos dados utilizados. A variável resposta neste estudo é o número de internações diárias por doenças respiratórias e circulatórias, que podem sofrer influência pelos seguintes poluentes: CO, SO₂, NO₂, O₃, e MP₁₀ e variáveis meteorológicas tais como temperatura média, umidade relativa e pressão atmosférica.

Neste estudo foi utilizado o Modelo Linear Generalizado (MLG) que permite um maior número de opções para a distribuição da variável resposta. Comparando os MLG com outros tipos de modelos de regressão como regressão logística ordinal e a linear múltipla, os que apresentaram maior sensibilidade na influência dos poluentes são os modelos lineares generalizados (LAZZARI, 2013).

Nos casos em que a variável resposta é um evento de contagem e quando a distribuição Normal não representa o conjunto de dados, se utiliza a distribuição de Poisson. A variável resposta utilizada neste estudo é o número de internações diárias, que é um evento de contagem, não negativo. Nesta análise de regressão serão aplicados os modelos de distribuição de Poisson e Binomial Negativo para analisar o impacto da poluição no número de internações respiratórias e circulatórias.

Quando se trabalha com dados observacionais, se encontram presentes os fatores que interferem no modelo e podem ser: sazonalidade, dias de semana e feriados, tendências temporais de curto e longo prazo e dados meteorológicos que devem ser analisados no modelo proposto.

Tanto na Regressão Linear Simples quanto na Regressão Múltipla, os resultados (as suposições) do modelo ajustado devem ser validados para que os resultados sejam confiáveis.

Os MLG são definidos por uma distribuição de probabilidade e exibem os seguintes elementos (NELDER E WEDDERBURN, 1972; TADANO et al., 2009; CORDEIRO E DEMÉTRIO, 2010):

- Componente aleatório: se identifica o tipo de variável resposta que segue uma distribuição pertencente à família de distribuições exponencial. Se representa por um conjunto de variáveis aleatórias independentes Y_1, \dots, Y_n com médias μ_1, \dots, μ_n e com valor esperado $E(Y_i) = \mu_i$, com $i=1, \dots, n$.
- Componente sistemático: produz a estrutura linear para o modelo de regressão, $\eta = \beta.X$, denominado preditor linear, em que $X = (x_1, \dots, x_n)^t$, é a matriz do modelo, $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p)^T$

o vetor de parâmetros a serem estimados, e $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_n)^T$ o preditor linear. O componente sistemático compõe as variáveis explicativas.

- Função de ligação: função que vincula os componentes aleatório e sistemático, portanto conecta a média da variável resposta (μ) ao preditor linear, definida nos MLG por $g(\mu) = \eta$. Em que: $\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n$, ou $\eta = \beta X_t$ e $g(\mu)$ uma função monótona e diferenciável. O coeficiente de regressão β representa o vetor de parâmetros a ser estimado. Serão utilizadas as funções de ligação canônica de Poisson e Binomial Negativa, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Funções de ligação canônica para a distribuição de Poisson e Binomial Negativa.

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

Muitas das distribuições estatísticas se encontram dentro da família exponencial de distribuição como a distribuição Normal, Binomial, Binomial Negativa, Gama, Normal Inversa, Poisson, entre outras (CORDEIRO E DEMÉTRIO, 2010).

Neste estudo, as variáveis dependentes consideradas foram as internações diárias por doenças do aparelho respiratório e circulatório e como variáveis independentes: variáveis meteorológicas e a concentração dos poluentes.

Utilizando a distribuição Binomial Negativa o modelo para estimar os parâmetros β_i 's seria:

$$\eta = \ln \frac{\mu}{k + \mu} = \beta_0 + \beta_1 X_{pi} + \beta_2 X_{met} + \beta_3 X_{dias} + \beta_4 X_{diasem} + \beta_5 X_{fer}, \quad (1)$$

onde as variáveis explicativas são: X_{pi} = variável poluente, X_{met} = variável meteorológica, X_{dias} = dias, X_{diasem} = dias da semana, X_{fer} = feriado. Com os valores de β_i obtidos pela equação (1), ficam determinados os efeitos das variáveis explicativas em η (CONCEIÇÃO et al., 2001).

Os MLG, portanto, se referem à linearidade que existe com a função de ligação e a generalização se refere à ampla variedade de distribuições a que podem ser atribuídas a variável

resposta, podendo ser do tipo Binomial, Binomial Negativa, Gama, Normal Inversa, Poisson, entre outras.

Ao realizar a análise com distribuição de Poisson, se pressupõe que a esperança e a variância dos dados são iguais, mas isto nem sempre acontece, e pode ocorrer uma superdispersão ou subdispersão dos dados, quando a variância é maior ou menor do que a média, como ocorre em estudos que relacionam a poluição do ar com a saúde. Quando ocorre a superdispersão ou subdispersão, se ajusta o modelo de distribuição de probabilidade mais apropriado (CORDEIRO E DEMÉTRIO, 2010).

Neste estudo, foram utilizados os casos de internações diárias por doenças respiratórias e circulatórias nos municípios de Araucária e Curitiba para as seguintes faixas etárias: 0 a 9 anos, 10 a 19, 20 a 64, maiores de 64 anos e também todas as idades incluídas em uma mesma análise. As variáveis independentes utilizadas foram as concentrações dos poluentes: CO, NO₂, O₃, SO₂, MP₁₀ e variáveis meteorológicas: T_m, UR_m, P_m e T-T_m, que é a temperatura média diária menos a temperatura média no período de 2010 a 2014.

3.7.1 Seleção do modelo de regressão

A seleção do modelo mais adequado, foi feita mediante análise gráfica dos resíduos, que consiste em realizar o método gráfico normal de probabilidades utilizando-se o pacote “*half normal plot*” que corresponde ao comando “*hnp*” no software R. Os pontos gerados pelos resíduos (*leverage*) do modelo devem permanecer dentro ou o mais próximo possível do envelope de simulação gerado, quando o modelo é adequado (CORDEIRO E DEMÉTRIO, 2010).

Para a escolha do modelo também foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (AIC). O método AIC realiza a estimação da quantidade ou distância K-L (Kullback e Leibler), onde K é o número de parâmetros do modelo, L é a função de log-verossimilhança maximizada e (K-L) a distância entre o modelo utilizado e o modelo adequado (POSADA E BUCKLEY, 2004). O modelo mais apropriado é o que possui o menor valor de AIC:

$$\mathbf{AIC = -2L + 2K} \quad (2)$$

A metodologia de análise que está sendo aplicada é similar à utilizada em outros trabalhos, como os realizados por Morris et al. (1995); Conceição et al. (2001); Tadano et al. (2009) e Aguiar (2015); para dados de saúde, qualidade do ar e variáveis meteorológicas. Estas análises foram realizadas com o software R versão 3.1.1.

3.7.2 Ajuste do modelo

Nos estudos de impacto da poluição do ar na saúde é comum realizar uma análise de tendência temporal, pois os dias de internações podem estar defasados em relação aos dias de exposição às concentrações de poluentes. Por exemplo, a pessoa pode estar exposta a um determinado dia a altas concentrações de poluentes atmosféricos, no entanto ser internada após 1 dia à até 7 dias após a exposição (NASCIMENTO et al., 2006). Neste tipo de estudo é importante considerar fatores de curto e longo prazo que influenciam a análise, tais como: fatores de autocorrelação, dias de defasagem entre a exposição e a concentração do poluente, dias de estudo, dias de semana, feriados e sazonalidade.

Para verificar se o ajuste de dados foi adequado ao banco de dados utilizado, foram comparados os modelos com as tendências temporais, fatores de autocorrelação e dias de defasagem utilizando o valor de AIC como critério de comparação.

3.7.2.1 Tendências temporais de curto prazo

A tendência temporal de curto prazo consiste na análise das variáveis: *dias de semana* e *feriados*. Para ajustar essa tendência adicionamos ao modelo uma variável qualitativa para cada dia da semana que varia de 1 a 7 (*diasem*), sendo que esta contagem se inicia em cada domingo com o número 1 (SCHWARTZ et al., 1996; TADANO et al., 2009; VANOS et al., 2014).

Como o número de atendimentos em dias de feriado e nos finais de semana geralmente também diminui, foi realizado um ajuste para feriados. Para este ajuste se adicionou uma variável binomial (*feriado*), em que os dias de feriado receberam o valor 1 e os dias de não feriado recebem o valor 0.

3.7.2.2 Tendências temporais de longo prazo

Uma das variáveis explicativas inserida para considerar a tendência de longo prazo foram os dias analisados, onde foi introduzida a variável (*dias*) com os dias 1 a 1826 considerando os cinco anos estudados.

Outra tendência de longo prazo incluída neste modelo foi a sazonalidade. A sazonalidade se refere a periodicidade de um evento que ocorre em determinadas épocas do ano, como as condições meteorológicas, as concentrações de poluentes e inclusive as internações que variam ao longo do ano. Para ajustar esta tendência foi incluída a função *spline cúbica natural* com a finalidade de suavizar esta sazonalidade. Esta função possui boa aproximação das tendências polinomiais (GOUVEIA et al., 2006; TADANO et al., 2009; VANOS et al., 2014).

Esta função suaviza o comportamento das funções cujas mudanças são locais e abruptas. Na função *spline*, se observa uma função polinomial para cada um dos intervalos (CHAPRA E CANALE, 1987). Esta função não tem significado físico e não pode ser utilizada para realizar previsões.

O *spline* utilizado neste estudo é o *spline* cúbico que também é a função *spline* mais utilizada (CONCEIÇÃO et al., 2001; TADANO et al., 2009) e cuja finalidade é derivar um polinômio de terceira ordem para cada intervalo entre 2 nós (ponto onde dois splines se encontram) e que tem a seguinte forma:

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad (3)$$

Neste tipo de análise geralmente se utilizam de 4 a 6 nós (graus de liberdade) por ano dependendo do local de estudo, pois a sazonalidade que existe se deve às diferenças entre as estações do ano.

Para exemplificar o formato do banco de dados, as primeiras linhas do banco de dados se encontram na Tabela 3, onde foram introduzidas as variáveis sazonalidade (*dia*) e tendências de curto prazo (*diasem* e *feriado*).

Tabela 3. Banco de dados com os dois primeiros dias do período de estudo.

Data	CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	MP ₁₀	IDC*	IDR*	T _m	UR _m	P _m	T-T _m	dias	diasem	feriado
01/01/2010	0,0362	6,36	18,26	43,03	13,36	1	0	17,86	87,28	911,56	0,39	1	6	1
02/01/2010	0,1613	12,56	16,15	2,61	11,94	2	0	21,73	84,10	911,53	4,25	2	7	1

*IDC indica o número de internações por doenças circulatórias e IDR são as internações por doenças respiratórias.

3.7.2.3 Correlação de dados com o tempo

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde frequentemente ocorrem após alguns dias de exposição (CONCEIÇÃO et al., 2001; BAKONYI et al., 2004). Assim, o atendimento ou internação hospitalar pode ocorrer até alguns dias após a exposição aos poluentes, por isso considerou-se um tempo de defasagem que variou de 1 a 7 dias (BRAGA et al., 2001; NASCIMENTO et al., 2006; TADANO, 2012). Quando ocorre esta defasagem, pode haver uma autocorrelação entre os dados de um determinado dia com os dados de dias anteriores.

A função de autocorrelação parcial em função do tempo de defasagem é usada para verificar se existe alguma correlação entre os dados. Nestes gráficos, os resíduos devem ser o menor possível, e devem se encontrar entre: $[-2 * n^{-\frac{1}{2}}; 2 * n^{-\frac{1}{2}}]$; onde n é o número de observações.

Nos estudos epidemiológicos em que ocorrem as autocorrelações, os dados devem ser ajustados (TADANO, 2012). As correlações mais importantes geralmente ocorrem dentro dos

primeiros 4 dias e se devem ao menor número de internações durante os fins de semana. O ajuste de dados correlacionados, se realiza inserindo o resíduo dentro do modelo a ser utilizado.

Neste estudo foram inseridas como variáveis, os dias de semana (domingo a sábado), dias do período de estudo, a sazonalidade, e os feriados. O modelo se torna mais complexo à medida que cada variável explanatória é incluída, portanto, é necessário verificar se a inserção destas variáveis modifica o ajuste. O critério de comparação de AIC foi utilizado para verificar o ajuste. A análise de significância utilizada foi de $\alpha=5\%$ em todas as análises de regressão.

3.7.3 Avaliação do ajuste

Uma vez selecionado o modelo a ser utilizado e realizada a análise temporal, deve-se avaliar o melhor ajuste. Para isso, a associação entre as variáveis explicativas e o desfecho se verificam por meio da Análise de *deviance residual*, que seria a função desvio residual (CORDEIRO E DEMÉTRIO, 2010). Esta análise se verifica com o comando ANOVA no software R. O *desvio* se calcula mediante a diferença entre o logaritmo da função de verossimilhança do modelo completo e o modelo estudado na estimativa da máxima verossimilhança β (ALVARENGA, 2013), e é capaz de detectar observações atípicas que influenciam o processo de ajuste do modelo.

Outro método utilizado para avaliar o ajuste é a estatística de Qui-quadrado (X^2) conhecida como resíduo de Pearson, que avalia em qual modelo foi obtido o melhor ajuste. Este método é mais utilizado, pois converge de forma mais rápida do que o método de *deviance* (CORDEIRO E DEMÉTRIO, 2010).

A estatística chamada Pearson ou Qui-quadrado X^2 , compara as distribuições observadas com as determinadas pelo modelo, através da equação (DEMÉTRIO, 2002):

$$\chi^2 = \sum \frac{(y - \hat{\mu})^2}{V(\hat{\mu})}, \quad (4)$$

onde $V(\hat{\mu})$ é a função de variância estimada para o modelo que está sendo ajustado ao banco de dados.

A estatística de Pearson é a soma dos resíduos de Pearson para cada observação. Se o modelo se ajusta bem aos dados, então possui uma estatística de Pearson aproximadamente igual ao seu grau de liberdade (gl), ou seja, $\chi^2 / gl \sim 1$, caso contrário, o modelo é inadequado, podendo se tratar de um problema de superdispersão (TADANO et al., 2009).

3.7.4 Análise por faixa etária

As faixas etárias consideradas neste estudo foram: crianças de 0 a 9 anos, crianças e adolescentes de 10 a 19 anos, adultos de 20 a 64 anos que foram considerados em um único grupo, pois são os que se encontram em idade produtiva, e o último grupo com idosos maiores que 64 anos.

Na Tabela 4 se encontram os valores percentuais de habitantes nas regiões de Araucária e Curitiba de acordo com as faixas etárias analisadas. Verifica-se que a maior porcentagem da população de adultos e idosos encontra-se em Curitiba, e há maior porcentagem de crianças e adolescentes de 0 a 19 anos em Araucária.

Tabela 4. Porcentagem de habitantes para cada região de estudo, de acordo com as faixas etárias analisadas.

Faixa etária	Araucária	Curitiba
	% habitantes	% habitantes
0 a 9	15,7	12,8
10 a 19	19	15,7
20 a 64	60,7	63,8
Maior de 64	4,6	7,7

Não foram realizados estudos de regressão por interações circulatorias para crianças e adolescentes entre 0 a 19 anos, pois este tipo de interação não ocorre com frequência nestas faixas etárias. O impacto da poluição do ar em doenças cardiovasculares ocorre principalmente em adultos e idosos, por isso foi utilizada a faixa com maiores de 64 anos (BRAGA et al., 2007; TADANO et al., 2009).

3.8 Risco Relativo

Como as internações hospitalares estão relacionadas tanto com a poluição do dia quanto de dias anteriores, é necessário avaliar o risco relativo entre as doenças respiratórias de um dia com a poluição atmosférica de dias anteriores (BAKONYI et al., 2004).

O risco relativo, ou *Odds Ratio* também conhecido como razão de chances, indica a razão entre a probabilidade do risco de adoecer entre grupo de expostos e não expostos a um fator de risco em estudo (ALVARENGA, 2013), o que nos dá a associação entre a exposição ao fator de risco x (neste caso seriam a concentração de poluentes atmosféricos ou variáveis meteorológicas tais como temperatura, umidade relativa ou pressão atmosférica), e o risco do resultado Y (por exemplo, o número de pessoas internadas com problemas respiratórios em uma determinada região). O risco relativo pode ser definido como:

$$RR(x) = \frac{E(Y|X)}{E(Y|X=0)}, \quad (5)$$

onde $E(Y|X)$ é o valor esperado ou esperança da variável explicativa, para determinada concentração X de um poluente.

Para o modelo de regressão Binomial Negativo, o risco relativo é dado por (COELHO E MASSAD, 2012):

$$RR = \exp^{\beta_i}, \quad (6)$$

onde β_i é o coeficiente de regressão obtido do modelo de regressão binomial negativo.

O intervalo de confiança de 95% para o RR foi calculado de acordo com a equação:

$$IC(95\%) = \exp(\beta_i \pm 1,96 * Ep(\beta_i)), \quad (7)$$

onde $Ep(\beta_i)$ = erro padrão em relação à β_i .

A equação (6) nos diz se a pessoa que foi exposta ao fator de risco (poluição neste estudo), estará mais propensa a adquirir uma doença (por exemplo, doença respiratória), com RR vezes maior chance que uma pessoa que não foi exposta a esta concentração de poluentes.

Por exemplo, um risco relativo igual a dois para uma pessoa exposta a concentração de MP₁₀, indica que esta pessoa tem o dobro de chance de adquirir uma doença respiratória do que uma pessoa que não foi exposta a essa concentração. Quanto maior o RR, maior a força da associação entre a exposição ao fator de risco e o efeito da exposição. Podemos interpretar este risco relativo da seguinte maneira (Wagner e Callegari-Jacques, 1998):

- RR<1: indica que o fator de associação teria uma ação protetora, e não constitui um risco à saúde;
- RR=1: indica que não há associação entre o fator de estudo e o risco do resultado;
- RR>1: a associação indica que o fator estudado é um fator de risco.

O cálculo de risco relativo pode ser usado sempre que o problema em questão envolva uma variável resposta não negativa em forma de contagem.

O risco relativo é usado em estudos de coorte, enquanto que o *Odds ratio* é utilizado em estudos de caso-controle, e são chamados de razão de chances ou razão de *odds* em estudos epidemiológicos.

Segundo Wagner e Callegari-Jacques (1998) a razão de chances possui a mesma interpretação que o RR, porém se calcula de forma diferente, pois seria uma estimativa do risco relativo. Estes fatores são úteis em estudos de intervenção, enquanto que estudos de risco atribuível à população são mais úteis em ações de saúde pública, no estudo de um fator de risco sobre a população e quais as possíveis repercussões de sua remoção.

3.9 Risco atribuível

O cálculo de risco atribuído à saúde da população, foi utilizado seguindo o modelo especificado pela WHO (1999), para Risco Relativo (RR) e Proporção de Risco Atribuído à população (PRA). O risco relativo é a probabilidade de desenvolver uma doença. Neste estudo

seria a probabilidade dessa doença ocorrer devido à exposição aos poluentes atmosféricos (WHO, 2003).

Os cálculos são realizados para a RMC e para os poluentes O_3 e MP_{10} , por serem aqueles em geral com maiores concentrações e com dados disponíveis, de acordo com as seguintes equações (NAGPURE et al., 2014):

$$PRA = \frac{[RR(c) - 1] * p(c)}{RR(c) * p(c)} \quad (8)$$

PRA = proporção de risco atribuído à população, pode ser atribuído à exposição de poluentes em uma determinada população para certo período;

$RR(c)$ = mudança de risco relativo a saúde, na categoria c de exposição;

$p(c)$ = proporção da população na categoria c de exposição, este valor pode variar de acordo com o grau de exposição em diferentes regiões (por exemplo, residencial ou industrial). O valor de $p(c)$ será considerado igual a 1, pois toda população em algum momento poderá estar exposta a poluição atmosférica.

$$RR(c) = \frac{(C-T)}{10} * (RR - 1) + 1, \quad (9)$$

onde C = concentração ambiente do poluente atmosférico. Calculado a partir dos dados horários observados nas oito estações de qualidade do ar localizadas na RMC. Para MP_{10} calculou-se a média anual e para O_3 foi calculado a média móvel de 8 horas diárias e obtidos os dias em que os valores máximos em 8 horas ultrapassaram o padrão.

T = limite do nível de poluente recomendado pela OMS. Para concentração anual de MP_{10} é de $20 \mu g m^{-3}$ e para O_3 (8 horas) foi utilizado o valor de $100 \mu g m^{-3}$.

RR= risco relativo para certos efeitos adversos à saúde que estão associados à categoria *c* de exposição, que e é obtido de estudos epidemiológicos, neste estudo foram calculados a partir dos coeficientes de regressão da análise de regressão.

$$IE = I * PRA \quad (10)$$

IE = taxa da população exposta aos poluentes atmosféricos

I = frequência do efeito na população

Para uma população de tamanho *N*, podemos calcular o número de internações devido à categoria *c* de exposição:

$$NE = IE * N \quad (11)$$

Consequentemente, a frequência da ocorrência na população livre da exposição a poluição (*INE*) pode ser estimada como:

$$INE = I - IE = I * (1 - PRA), \quad (12)$$

onde *I* é a frequência na ocorrência de internações expressadas por 100.000 habitantes.

Para o poluente MP_{10} , foi calculado o número de internações anuais atribuídas ao poluente. Para o O_3 , foi realizado o cálculo do número de internações diárias atribuídas a este poluente, nos dias em que a concentração média de 8h ultrapassou os limites recomendados pela OMS, e posteriormente realizada a somatória mensal.

Conhecendo o Risco Relativo de certo nível de poluição e a incidência estimada na população não exposta, o excesso de incidência [$\Delta I(c)$] e o excesso de números de casos

$[\Delta N(c)]$, respectivamente, em certa categoria de exposição ‘ c ’ pode ser calculado usando as seguintes equações:

$$\Delta I(c) = (RR(c) - 1) * p(c) * INE \quad (13)$$

$$\Delta N(c) = \Delta I(c) * N \quad (14)$$

O número de casos de admissões hospitalares em excesso calculadas pelo modelo, indica que as internações da população exposta podem ser minimizadas, se a concentração dos poluentes for reduzida a partir do nível atual para o nível limiar recomendado pela OMS (AGUIAR, 2015). Porém, é necessário ressaltar que uma concentração abaixo dos padrões recomendados pela OMS, não significa que não haverá efeitos adversos à saúde da população, mas indica que os riscos à saúde serão minimizados.

4 ANÁLISE INICIAL DE ESTUDO

4.1 Descrição dos dados meteorológicos

No período de estudo entre 2010 a 2014, foram analisados 1826 dados diários de temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos na estação meteorológica do SIMEPAR em Curitiba, sendo 100% dos dados válidos nesta estação. Nas demais estações da RMC, os dados de temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa e precipitação, foram analisados com mais de 99% dos dados válidos para o período de estudo. A direção e velocidade do vento foram obtidas apenas nas estações do SIMEPAR.

Nas Figuras 4 (a) e (b) se encontram os gráficos da média mensal de variáveis meteorológicas nas estações do INMET durante o período de 1961 a 2014, caracterizando a climatologia da região.

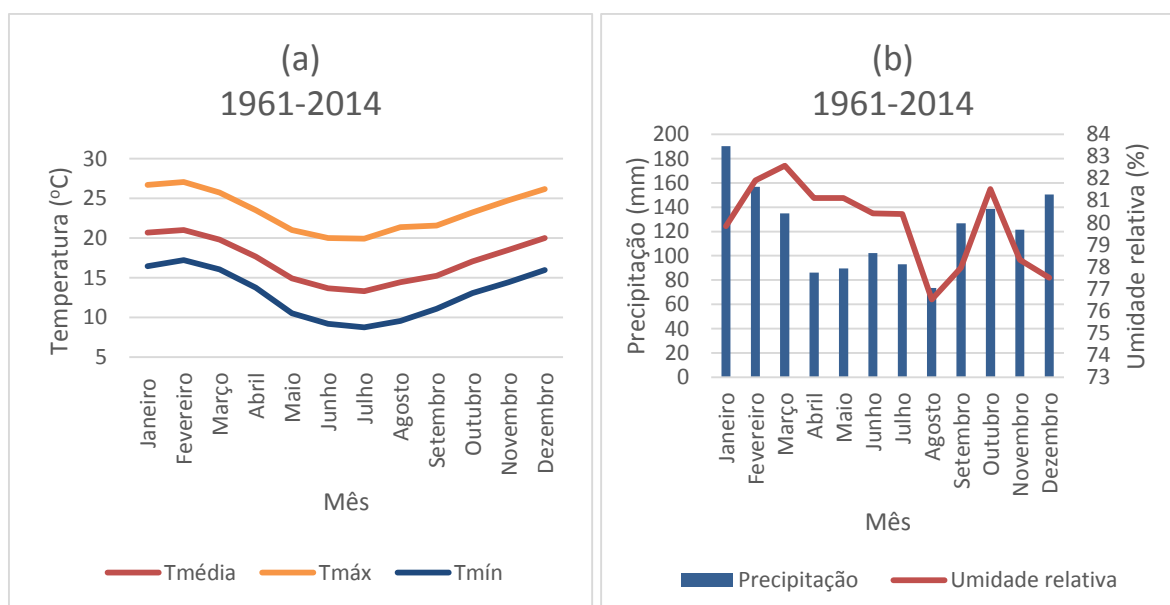


Figura 4. Médias mensais climatológicas da RMC - 1961 a 2014: (a) Temperatura e (b) Precipitação e umidade relativa.

As maiores temperaturas e precipitações ocorrem durante o verão, nos meses de dezembro a fevereiro e as temperaturas mínimas entre maio e agosto. As precipitações ocorrem durante todo o ano, porém com menor intensidade no inverno, caracterizando esta estação como fria e menos chuvosa, o que torna a atmosfera desfavorável para a dispersão dos poluentes. A média mensal climatológica de precipitação variou entre 73 a 190 mm/mês, a de umidade relativa mensal entre 76% e 82%, e a temperatura entre 8 °C a 27 °C.

A direção dos ventos em Curitiba (Figura 5), assim como em Lapa, no período estudado, é proveniente predominantemente da direção leste. Em Pinhais os ventos dominantes são de norte. A rosa dos ventos das estações em Lapa e Pinhais se encontram no Apêndice I. Em geral, os ventos são fracos, com velocidade média oscilando entre 2 e 4 m/s. A normal climatológica do vento é velocidade de 2,2 m/s e direção predominante de leste (IAPAR, 2016). Estas análises foram realizadas através do programa WRPLOT View versão 7.0.0.

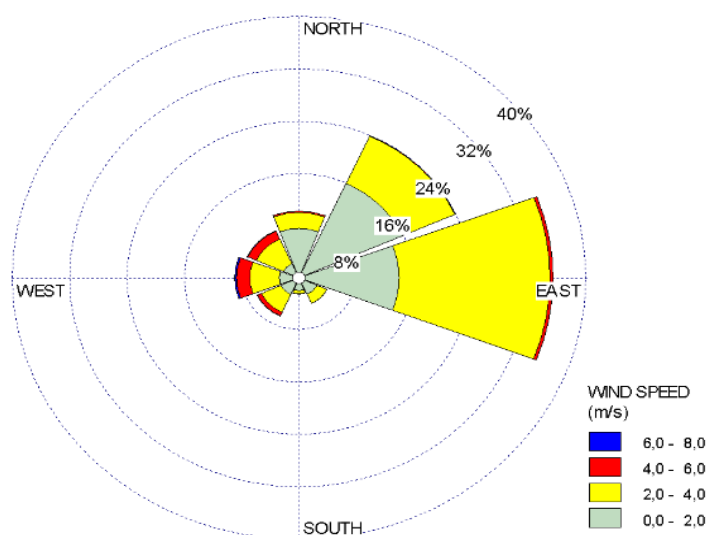


Figura 5. Rosa dos ventos na estação SIMEPAR-Curitiba no período de 2010-2014.

Na Figura 6, se comparam as séries mensais de temperatura no período estudado nas estações meteorológicas analisadas na RMC. Também foram comparadas as pressões atmosféricas e umidade relativa entre as estações estudadas. A temperatura apresenta uma tendência sazonal, que ocorre com seu maior valor nos meses de verão e os menores valores nos meses de inverno.

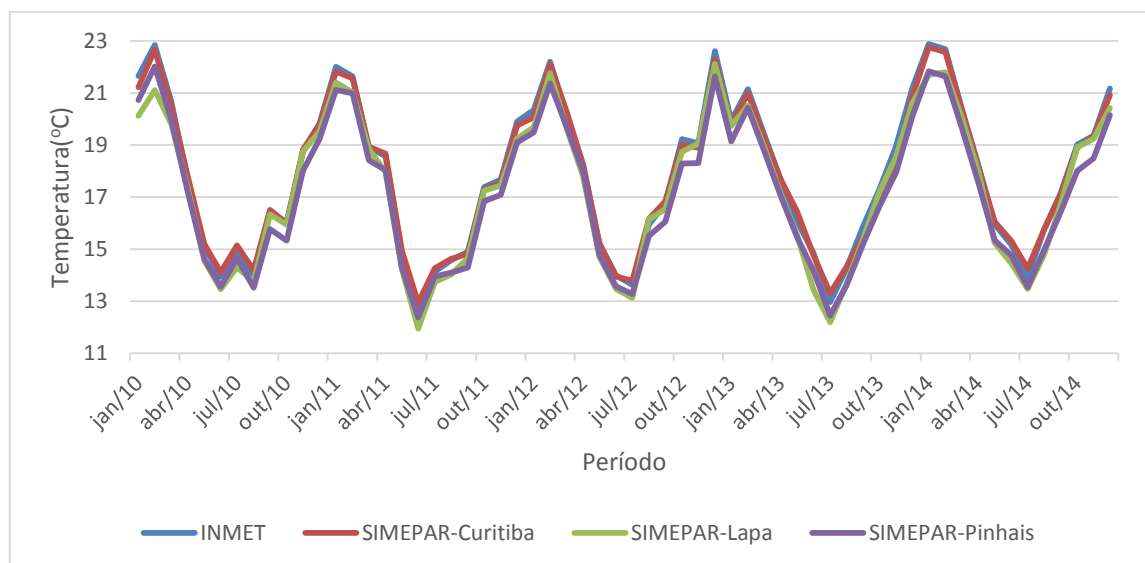


Figura 6. Série temporal de temperaturas médias em cada estação meteorológica da RMC, 2010-2014.

Na Tabela 5 se encontram os resultados da análise descritiva das variáveis meteorológicas (média entre as estações) para o período de estudo registrado na RMC. Como o desvio padrão calculado para as variáveis meteorológicas não foi elevado foi utilizado a média das variáveis temperatura, pressão e umidade relativa das quatro estações no estudo.

Tabela 5. Análise descritiva de variáveis meteorológicas na RMC de 2010 a 2014.

Variável	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Pressão Atmosférica (mbar)
Média	17,5	83	913,3
Mediana	17,7	84	913,2
Desvio Padrão	3,8	8,8	3,8
Mínimo	2,5	47	900,2
Máximo	26,6	100	945,1

4.2 Descrição das admissões hospitalares

4.2.1 Admissões hospitalares mensais na RMC

O número de internações totais na RMC, para o período de 2010 a 2014 foi de 150.946 para as admissões circulatórias (Figura 7) e 119.296 internações respiratórias (Figura 8).

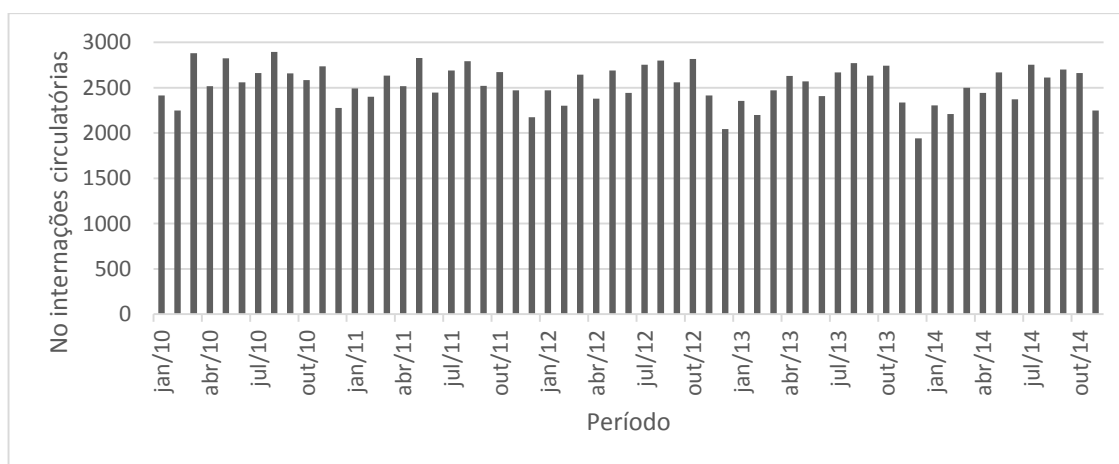


Figura 7. Número de internações mensais por doenças circulatórias na RMC, durante 2010-2014.

As internações apresentam um comportamento sazonal, com maior número de internações no período de inverno e menor no verão, esta característica é mais acentuada no caso das doenças respiratórias.

A sazonalidade das internações ao ser comparada com a temperatura e umidade relativa (Figura 4) apresenta-se inversamente proporcional, sendo que quanto menor a temperatura e a umidade, como nos meses de inverno, maiores são as internações.

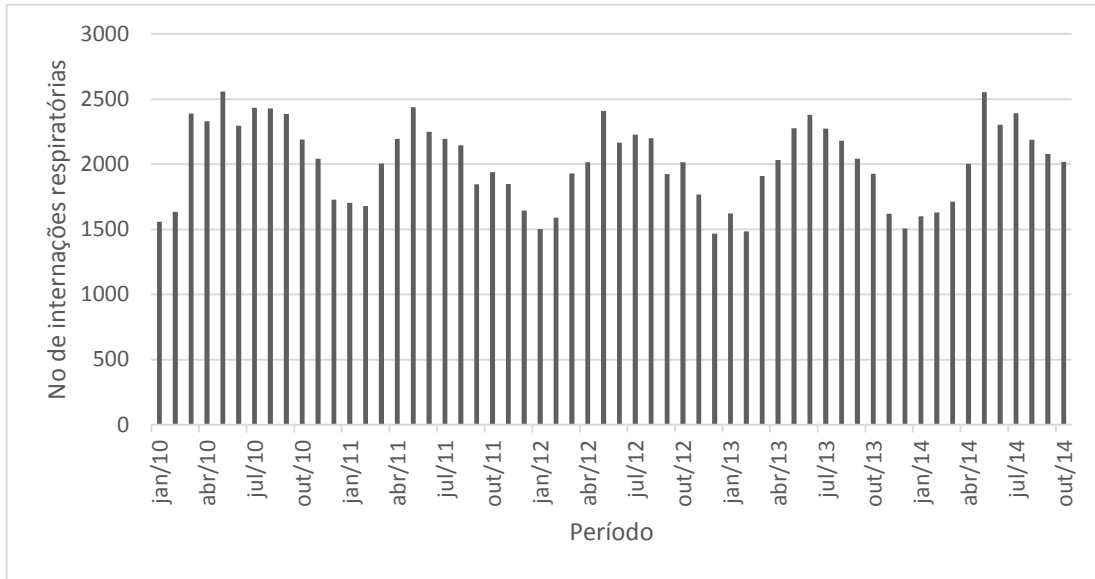


Figura 8. Número de internações mensais por doenças respiratórias na RMC, durante 2010-2014.

A Tabela 6 mostra a análise exploratória descritiva das internações. A média das admissões por doenças circulatórias são maiores que as respiratórias, e são maiores nos meses de abril a julho devido à menor temperatura e umidade relativa nesse período.

Tabela 6. Análise descritiva admissões hospitalares mensais, todas as faixas etárias, na RMC de 2010 a 2014.

Variáveis	Internações	Internações
	Circulatória	Respiratórias
Média	2516	1988
Desvio Padrão	249	339
Mínimo	1501	975
Máximo	2895	2557

As internações mensais utilizadas nos cálculos de risco atribuível, apresentam um comportamento sazonal durante o período de estudo, sendo que o maior número de internações

ocorre no período de inverno, e o menor durante o verão, e as internações por doenças circulatórias são maiores em todos os meses do período estudado, quando comparada as internações por doenças respiratórias.

4.2.2 Internações hospitalares diárias

A análise descritiva diária das internações se encontra na Tabela 7, e estas internações foram utilizadas na análise estatística de regressão. Em Araucária ocorreram 4.160 internações por doenças circulatórias e 4.259 por doenças respiratórias, durante o período de estudo. Em Curitiba ocorreram 56.740 internações por doenças circulatórias e 44.230 por doenças respiratórias, durante o período de estudo, de acordo com a análise descritiva das internações diárias (Tabela 7).

Tabela 7. Análise descritiva das internações hospitalares diárias, para todas as faixas etárias, em Araucária e Curitiba no período de 2010 a 2014.

Variáveis	Araucária		Curitiba	
	IDC*	IDR*	IDC*	IDR*
Média	2,31	2,30	29,61	23,97
Desvio Padrão	1,91	2,01	14,99	11,27
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	14	16	90	92
Total	4160	4259	56740	44230

* IDC são as internações por doenças circulatórias e IDR são as internações por doenças respiratórias.

4.2.3 Distribuição e internações hospitalares por faixa etária

A Tabela 8 apresenta as internações na taxa da população por cada 100 mil habitantes, onde o número de internações ponderadas por doenças circulatórias é maior, e ocorreu na faixa etária de 20 a 64 anos, seguido pelo grupo de idosos com mais de 64 anos. No caso de crianças e adolescentes, este número é bem menor do que o total de internações circulatórias. No caso das hospitalizações por doenças respiratórias, o maior número ocorre para crianças de 0 a 9 anos, seguido por adultos de 20 a 64 anos e idosos maiores de 64 anos.

Tabela 8. Número de internações normalizadas em Araucária e Curitiba, por faixas etárias.

Faixa etária	Araucária		Curitiba	
	IDC*	IDR*	IDC*	IDR*
0 a 9	38	1323	29	906
10 a 19	39	383	35	293
20 a 64	2121	972	1974	869
Maior de 64	1352	897	1263	505

* IDC são as internações por doenças circulatórias e IDR são as internações por doenças respiratórias.

Em Araucária, o número de internações por doenças circulatórias e respiratórias foi maior que em Curitiba, no entanto, é necessário ressaltar que estes são dados normalizados.

4.3 Descrição dos poluentes atmosféricos

4.3.1 Poluentes atmosféricos em Araucária

Os dados diários de concentração de poluentes são utilizados nos cálculos de regressão dos MLG, para os municípios de Araucária e Curitiba, respectivamente.

Na figura 9 são apresentados os gráficos da série temporal das concentrações diárias dos poluentes estudados em Araucária. Em Araucária, as concentrações de SO₂, NO₂ e partículas são maiores do que em Curitiba (Figura 10), devido à grande concentração de indústrias que são a principal fonte de SO₂ na região.

As concentrações de NO₂, CO, MP₁₀ e PTS (Figura 9b, 9c, 9e, 9f) apresentam uma sazonalidade similar à apresentada para o número de internações, onde as concentrações são maiores no inverno, devido às baixas temperaturas e umidade relativa que fornecem um ambiente desfavorável para a dispersão dos poluentes.

As partículas grossas tendem a sedimentar por gravidade e posteriormente sofrem ressuspensão por ação do vento e tráfego de veículos, enquanto que as partículas menores permanecem maior tempo suspensas, sendo depositadas geralmente devido à umidade e precipitação.

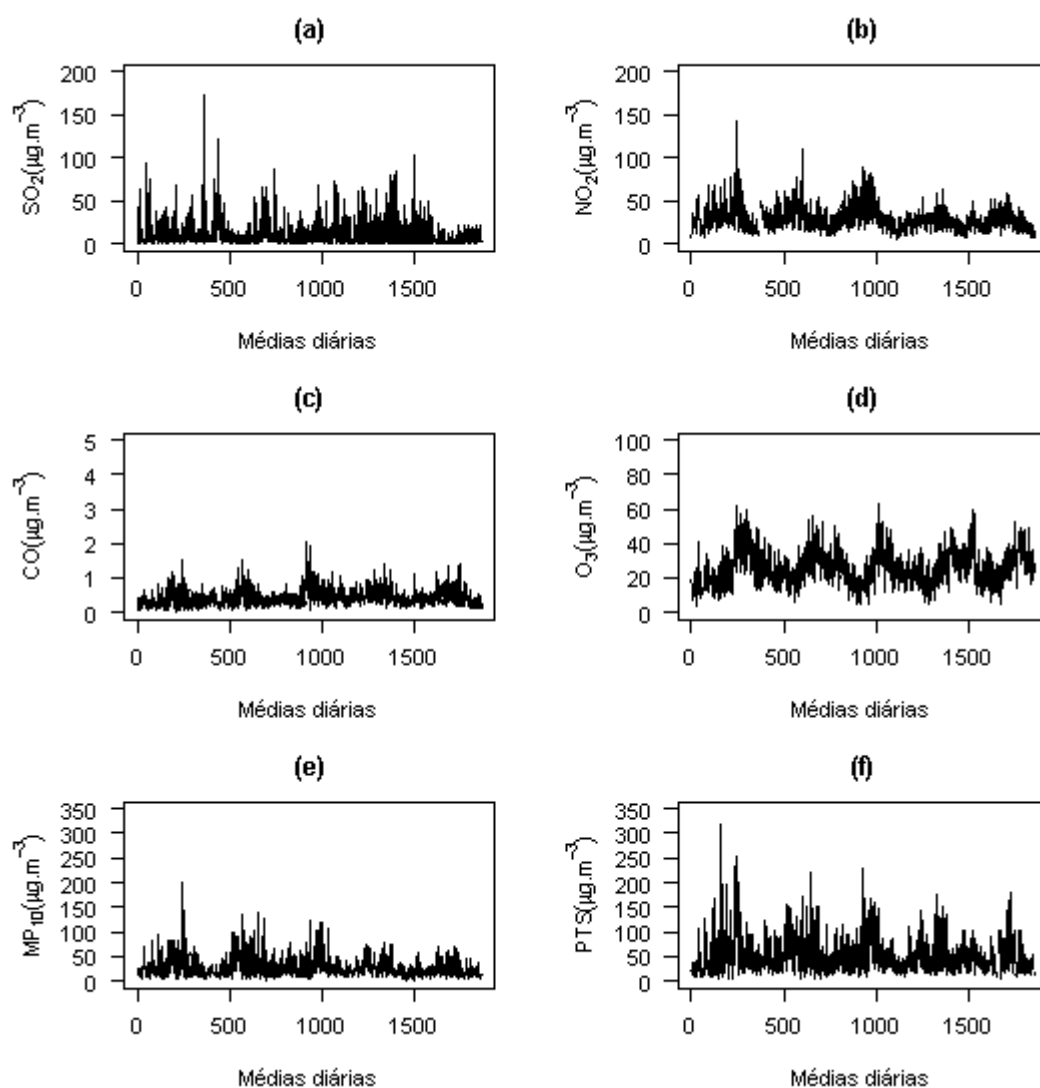


Figura 9. Série temporal de concentrações médias diárias dos poluentes nas estações de Araucária, durante 2010-2014.

No caso do O_3 (Fig. 9d), também apresenta um comportamento sazonal, no entanto, as concentrações são maiores nos períodos de verão, devido à que a formação do ozônio ocorre em presença de radiação solar, e no período do verão esta radiação é mais intensa. No inverno as concentrações são menores.

De acordo com o padrão Nacional estabelecido pelo CONAMA 03/1990 (Tabela 9), as concentrações diárias de PTS, MP_{10} e SO_2 em Araucária, ultrapassaram os limites em 32, 3 e 3 dias, respectivamente.

Tabela 9. Padrão nacional estabelecido pelo CONAMA 03/1990.

Poluente	Tempo amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) **	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) **
PTS	24 h	240 ***	150 ***
	1 ano *	80	60
MP ₁₀	24 h	150 ***	150 ***
	1 ano *	50	50
SO ₂	24 h	365 ***	100 ***
	1 ano *	80	40
CO	1 hora	40000 ***	40000 ***
	8 horas	10000	10000 ***
O ₃	1 hora	160 ***	160 ***
NO ₂	1 hora	320	190
	1 ano *	100	100

*Média geométrica para PTS: para as demais substâncias as médias são aritméticas. **Condições de referência: temperatura 25°C e pressão de 101,32 KPa. ***Não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

Realizando a média dos dados de concentração, entre as estações de Araucária, foram utilizados 100% dos dados, para o período de 2010 a 2014. A análise descritiva dos poluentes em Araucária se encontra na Tabela 10. Embora tenha ocorrido ultrapassagens dos limites estabelecidos pela legislação pelos poluentes PTS, SO₂ e MP₁₀, as concentrações médias no período de estudo se mantiveram baixas durante o período de estudo.

Tabela 10. Análise descritiva dos poluentes em Araucária para 2010 a 2014.

Município	Poluente	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Araucária	SO ₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	0,00	172,70	10,33	4,98	14,14
	NO ₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	4,83	142,64	29,12	26,54	13,93
	O ₃ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	3,93	63,26	26,01	25,18	9,70
	CO ($\mu\text{g m}^{-3}$)	0,02	2,02	0,43	0,39	0,24
	MP ₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	1,66	199,38	28,56	22,82	22,82
	PTS ($\mu\text{g m}^{-3}$)	3,67	317,33	51,48	41,89	34,86

4.3.2 Poluentes atmosféricos em Curitiba

Na Figura 10 são apresentados os gráficos das séries temporais das concentrações diárias dos poluentes para a cidade de Curitiba. Curitiba, onde apresenta grande circulação de veículos, as concentrações de CO e O₃ são maiores que em Araucária. O CO tem como principal fonte a combustão veicular que também é fonte dos precursores de ozônio.

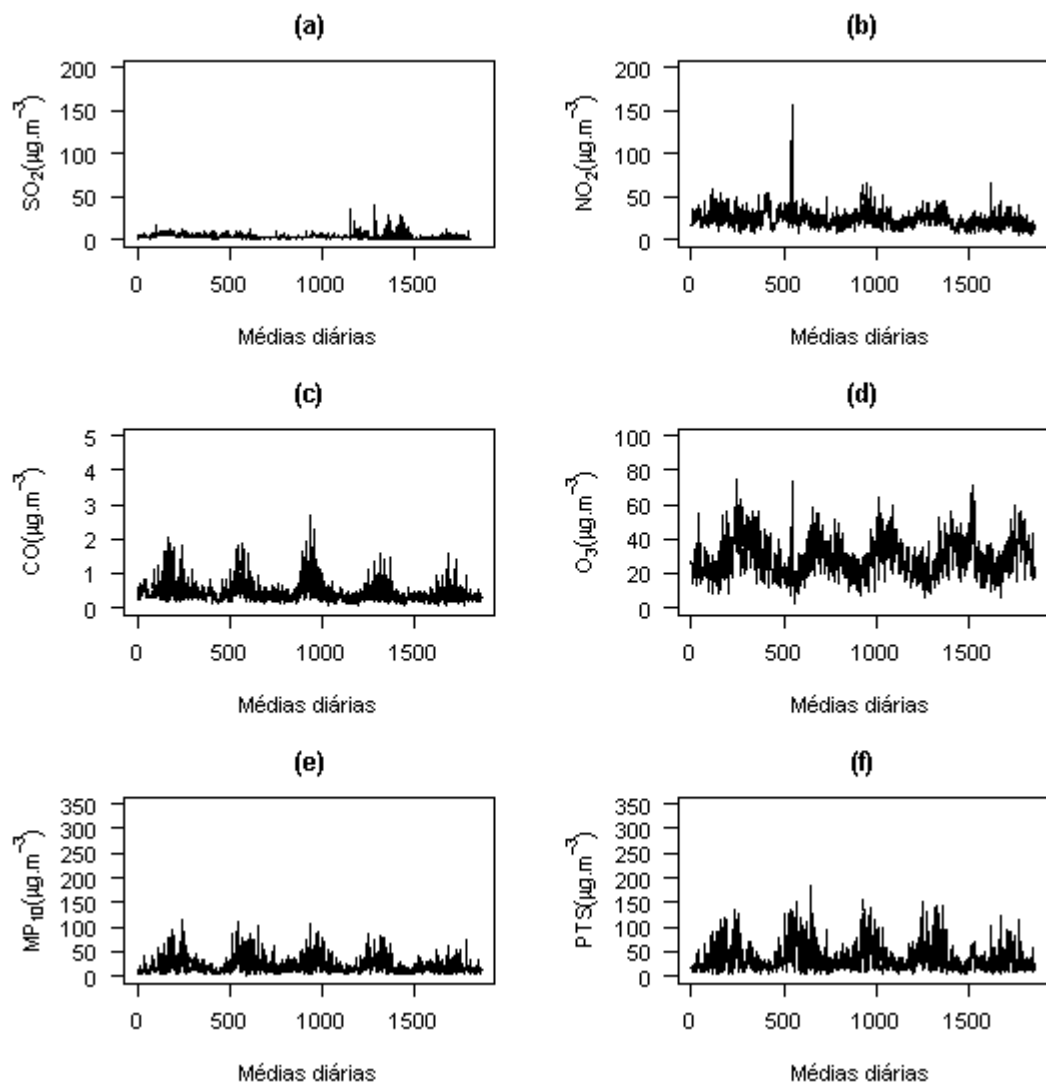


Figura 10. Série temporal de concentrações médias diárias dos poluentes nas estações em Curitiba, durante 2010-2014.

Comparando com os limites estabelecidos pelo CONAMA 03/1990, apenas PTS ultrapassou os valores de concentração diários da legislação nacional em três dias, enquanto que SO₂ e MP₁₀ ficaram abaixo destes limites.

A média entre os dados de concentração das estações localizadas (quatro estações) em Curitiba foram calculadas com 100% dos dados válidos, para o período de 2010 a 2014. A análise descritiva dos poluentes em Curitiba se encontra na Tabela 11.

Tabela 11. Análise descritiva dos poluentes em Curitiba para 2010 a 2014.

Município	Poluente	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
	SO ₂ (µg m ⁻³)	0,00	39,38	3,42	2,69	2,99
	NO ₂ (µg m ⁻³)	4,78	155,50	24,21	22,63	11,60
Curitiba	O ₃ (µg m ⁻³)	2,26	74,93	28,97	27,43	10,98
	CO (µg m ⁻³)	0,07	2,71	0,44	0,35	0,30
	MP ₁₀ (µg m ⁻³)	2,33	115,98	21,44	16,37	16,50
	PTS (µg m ⁻³)	3,17	184,09	35,43	27,51	26,28

4.3.3 Correlação entre as variáveis

A correlação de Pearson foi realizada entre os poluentes, variáveis meteorológicas e número de internações para verificar se os dados estavam associados linearmente. Na Tabela 12, em negrito, verifica-se que as maiores correlações nas estações de Araucária ocorreram entre MP₁₀ e PTS (0,892) e entre NO₂ e MP₁₀ (0,732). A forte correlação entre MP₁₀ e PTS ocorre porque uma fração considerável de PTS é de MP₁₀. A correlação entre MP₁₀ e NO₂, provavelmente ocorre devido a sua fonte, que pode ser ressuspensão do solo, proximidade a fábricas de fertilizantes, siderúrgicas, processos químicos ou queimadas.

A temperatura e a umidade relativa apresentam uma correlação baixa, porém negativa entre elas e com as internações por doenças respiratórias e circulatórias. De acordo com a sazonalidade vista nas Figuras 4, 7 e 8, quanto menor a temperatura e a umidade, maior foi o número de internações. Como era esperado, encontrou-se uma correlação positiva da temperatura com o ozônio, e uma correlação negativa da UR com MP₁₀ e PTS. O material particulado é depositado no solo por gravidade, portanto quanto maior a umidade relativa ou quando há precipitação o material particulado sedimenta por deposição úmida.

Não se pode afirmar que a correlação de Pearson seja importante do ponto de vista epidemiológico, pois as relações entre internações por doenças respiratórias e circulatórias, concentração de poluentes e variáveis meteorológicas não ocorrem de forma linear (TADANO, 2009; JASINSKI et al., 2011).

Tabela 12. Correlação de Pearson para as variáveis de estudo em Araucária.

	CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	MP ₁₀	PTS	IDC*	IDR*	T	UR
CO	1,00									
NO ₂	0,587	1,00								
O ₃	-0,231	-0,199	1,00							
SO ₂	-0,269	-0,201	0,121	1,00						
MP ₁₀	0,597	0,732	-0,015	-0,172	1,00					
PTS	0,557	0,704	0,037	-0,167	0,892	1,00				
IDC*	0,124	0,167	-0,125	-0,007	0,118	0,118	1,00			
IDR*	0,141	0,175	-0,133	-0,044	0,157	0,146	0,155	1,00		
T	0,055	-0,055	0,191	-0,158	0,080	0,109	-0,058	-0,010	1,00	
UR	-0,260	-0,292	-0,373	0,165	-0,521	-0,559	-0,020	-0,025	-0,311	1,00

* IDC: Internações por doenças circulatórias, IDR: internações por doenças respiratórias.

Em Curitiba, as maiores correlações ocorreram para MP₁₀ e PTS (0,949) e para CO e PTS (0,693), que estão em negrito, de acordo com a Tabela 13. As concentrações de CO podem ser atribuídas a fontes móveis como veículos, pois CO em Curitiba tem como principal fonte a atividade veicular (IAP, 2013), e o MP₁₀, tem a indústria como principal fonte.

Também foram positivas as correlações entre a temperatura e o ozônio, MP₁₀ e PTS. A umidade relativa teve correlação negativa com todas as variáveis indicando que quanto menor

a umidade, maior será a concentração de poluentes, a temperatura e as internações por doenças circulatórias e respiratórias.

Tabela 13. Correlação de Pearson para as variáveis de estudo em Curitiba.

	CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	MP ₁₀	PTS	IDC*	IDR*	T	UR
CO	1,00									
NO ₂	0,606	1,00								
O ₃	-0,207	-0,145	1,00							
SO ₂	0,187	0,131	0,006	1,00						
MP ₁₀	0,691	0,551	0,064	0,145	1,00					
PTS	0,693	0,550	0,018	0,127	0,949	1,00				
IDC*	0,092	0,201	-0,109	0,023	0,139	0,155	1,00			
IDR*	0,142	0,251	-0,181	0,083	0,184	0,223	0,639	1,00		
T	-0,074	-0,029	0,299	-0,155	0,040	0,026	-0,058	-0,169	1,00	
UR	-0,259	-0,194	-0,457	-0,078	-0,542	-0,563	-0,059	-0,038	-0,316	1,00

* IDC: Internações por doenças circulatórias, IDR: internações por doenças respiratórias.

Comparando as concentrações médias diárias dos poluentes em Araucária, com os valores recomendados pela OMS, verifica-se que SO₂ e MP₁₀ ultrapassam estes limites durante 283 e 32 dias, respectivamente, e em Curitiba estes valores são ultrapassados em 8 e 123 dias. Em relação às médias anuais o MP₁₀ ultrapassou nos anos de 2010 a 2014 em Araucária, e de 2010 a 2012 em Curitiba.

Tabela 14. Padrão de concentração de poluentes atmosféricos, recomendado pela OMS.

Poluente	Tempo de amostragem	OMS
CO	1 h	30 mg m ⁻³
	8 h	10 mg m ⁻³
NO ₂	1h	200 µg m ⁻³
	Anual	40 µg m ⁻³
PM ₁₀	Anual	20 µg m ⁻³
	24h	50 µg m ⁻³
O ₃	8 h	100 µg m ⁻³
SO ₂	24h	20 µg m ⁻³

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados da seleção do modelo mais adequado de regressão estatística (item 5.1), analisado através do gráfico de desvio normal e método de comparação de Akaike (AIC). Os gráficos foram analisados para o grupo com todas as faixas etárias em Araucária e Curitiba, para internações por doenças circulatórias e respiratórias. Os gráficos de desvio normal para as demais faixas etárias, se encontram no Apêndice II.

Após a escolha do modelo, se encontram os resultados do ajuste do modelo de regressão, no item 5.2. No item 5.2.1, se encontra o resultado da análise de tendências temporais, sendo que nessa etapa foram introduzidas variáveis aleatórias que também possuem influência sobre o modelo, tais como: dias, dias de semana, feriados e a correlação de dados com o tempo. Os resultados incluem as variáveis mais significativas por faixas etárias e o número de dias de defasagem respectivos. Ao inserir estas variáveis o modelo torna-se mais complexo, e é necessário realizar uma avaliação do ajuste do modelo, que foi feito no item 5.3, onde se verifica se o ajuste realizado no item anterior é o mais adequado para este banco de dados. Após verificado o melhor ajuste, se encontram os resultados dos coeficientes de regressão e seu respectivo erro padrão para a concentração dos poluentes e variáveis meteorológicas, no item 5.3.1. No item 5.4 foi calculado o risco relativo por faixas etárias em Araucária e Curitiba e o risco atribuído à saúde na RMC no período estudado (item 5.4.1).

5.1 Seleção do modelo de regressão

São apresentados a seguir os resultados da comparação entre a distribuição de Poisson e a Binomial Negativa pelos métodos do gráfico de desvio normal e pelo critério de Akaike, utilizando o modelo linear generalizado.

Nesta etapa se encontra o modelo selecionado e as associações significativas obtidas para cada classe de doença para Araucária e Curitiba, através do método de *deviance*.

5.1.1 Internações por doenças circulatórias em Araucária

A análise de regressão com distribuição de Poisson apresentou importantes associações das internações circulatórias para todas as faixas etárias com as variáveis CO, NO₂, O₃, MP₁₀ e T-T_m (Tabela 15). A associação positiva com as variáveis não garante um bom ajuste, portanto, é necessário verificar o ajuste do modelo posteriormente.

Os poluentes e as variáveis meteorológicas mais significativos em cada análise foram obtidos através do método de *deviance*. Na tabela 15 são mostrados as variáveis associadas e o valor da *deviance*.

Tabela 15. Análise de *Deviance* do modelo de Poisson para internações circulatórias, com todas as faixas etárias, em Araucária.

Coefficientes	Diferença entre graus de liberdade	<i>Deviance</i> residual	Graus de liberdade	<i>Deviance</i>	Valor P
Nulo			1730	2921,1	<0,0001***
CO	1	22,9031	1729	2898,2	<0,0001***
NO ₂	1	21,0655	1728	2877,1	<0,0001***
O ₃	1	30,4205	1727	2846,7	<0,0001***
MP ₁₀	1	30,8990	1725	2815,2	<0,0001***
T-T _m	1	9,7054	1720	2803,9	<0,001**

*** p = 0,001; ** p = 0,01

Quanto mais próximo o valor de *deviance* dos graus de liberdade, mais adequado é o modelo. É necessário verificar se houve um bom ajuste, mesmo com os resultados de associações positivas com as variáveis analisadas.

Para verificar se o ajuste foi adequado, foi realizado o gráfico de desvio normal (*half-normal plot*) e a comparação pelo critério de Akaike (AIC). A análise gráfica indica se o desvio do modelo se encontra próximo aos graus de liberdade. Neste caso, a Figura 11 mostra o gráfico de desvio normal, onde pode ser visualizado claramente a falta de ajuste do modelo com distribuição de Poisson, confirmado pelo método de AIC. Os resíduos (pontos vermelhos)

ficaram fora do envelope gerado indicando uma superdispersão dos dados, este fenômeno ocorre quando a variância é maior que a média das variáveis utilizadas.

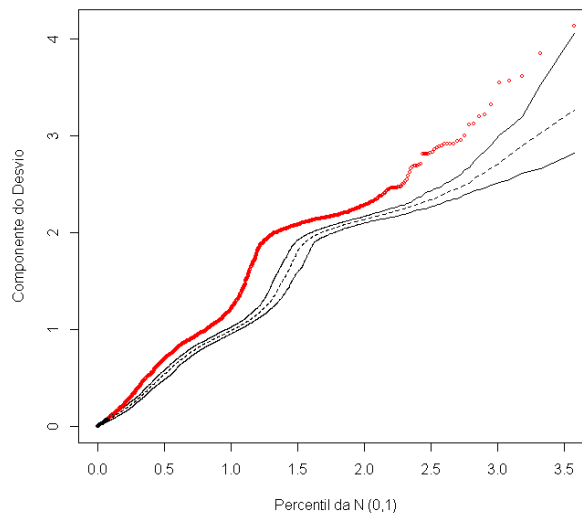


Figura 11. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson, para interações circulatorias em Araucária.

Para minimizar a superdispersão foi avaliado o modelo de regressão Binomial Negativo que é mais adequado nestes casos. Este modelo contém um parâmetro de dispersão que corrige a variabilidade dos dados (ALVARENGA, 2013). Neste caso, os resíduos se encontram dentro do envelope gerado conforme ilustrado na Figura 12, demonstrando que este tipo de distribuição se ajusta bem aos dados utilizados.

O modelo do tipo Poisson não se ajustou de forma adequada aos dados, apesar de ter sido possível obter resultados positivos, o que poderia ter levado a interpretação equivocada dos resultados.

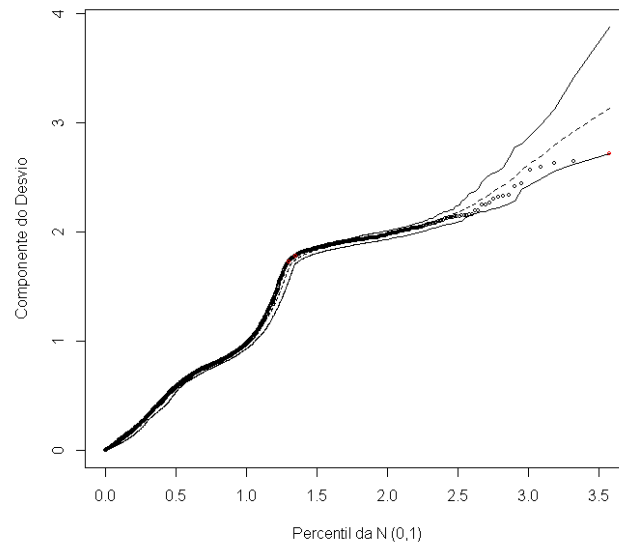


Figura 12. Gráfico de desvio normal com distribuição Binomial Negativa, para interações circulatorias em Araucária.

Ao utilizar o modelo Binomial Negativo foram encontradas importantes associações, pelo método de *deviance*, de acordo com a Tabela 16, entre as variáveis CO, NO₂, O₃, MP₁₀ e T-T_m que é a temperatura média diária, subtraída a temperatura média para o período estudado.

Tabela 16. Análise de Deviance do modelo Binomial Negativo para interações circulatorias para todas as faixas etárias, em Araucária.

Coefficientes	Diferença entre graus de liberdade	Deviance residual	Graus de liberdade	Deviance	Valor P
Nulo			1730	2054,3	<0,0001***
CO	1	15,5333	1729	2038,8	<0,0001***
NO ₂	1	15,5853	1728	2032,2	<0,0001***
O ₃	1	19,1143	1727	2004,1	<0,0001***
MP ₁₀	1	18,4740	1725	1985,3	<0,0001***
T-T _m	1	5,8792	1721	1978,3	<0,1*

*** p = 0,001; * p = 0,05

Os gráficos e resultados para as internações por doenças circulatórias em Araucária, para as faixas etárias entre 20 a 64 anos e para maiores de 64 anos se encontra no Apêndice II. Em ambos os casos foram obtidos melhores ajustes para os dados analisados com o modelo de regressão Binomial Negativo.

5.1.2 Internações por doenças respiratórias em Araucária

Foi realizada a análise gráfica de desvio normal, e novamente há a falta de ajuste do modelo com distribuição de Poisson, como pode ser visto na Figura 13, onde os resíduos se localizam fora do envelope gerado. Concluindo que o modelo mais adequado aos dados foi o Binomial Negativo. Com a distribuição Binomial Negativa (Figura 13 b) não há indícios de afastamento da distribuição assumida para os erros, portanto é a melhor adequação dos dados. As associações mais importantes foram com as variáveis CO, NO₂, O₃, MP₁₀ e temperatura média, de acordo com a Tabela 17.

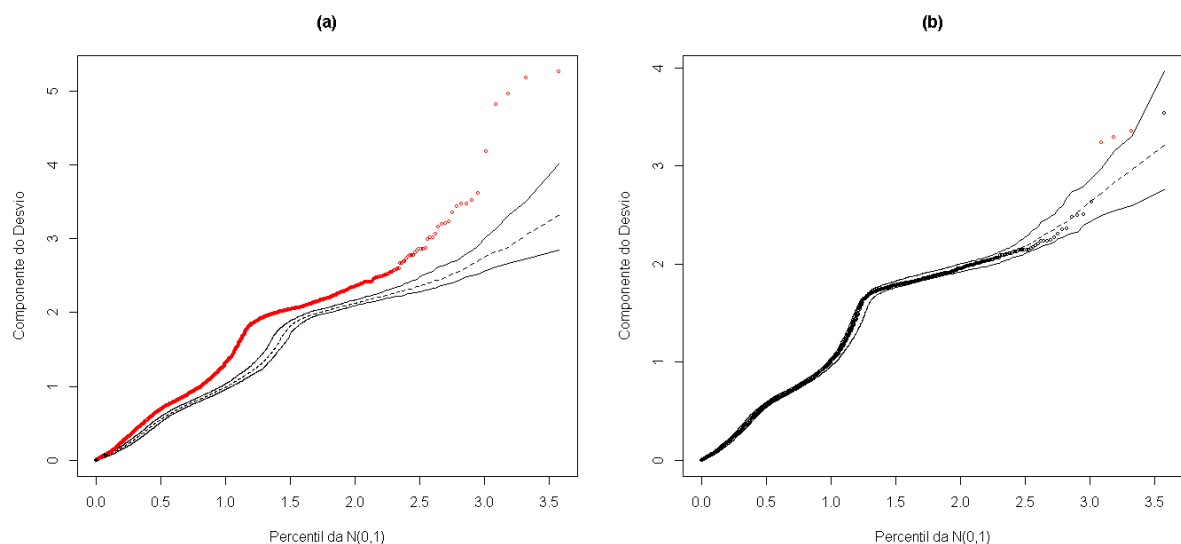


Figura 13. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Araucária, para todas as faixas etárias.

Os gráficos e resultados para as internações por doenças respiratórias em Araucária, para as faixas etárias entre 0 a 9 anos, 10 a 19, 20 a 64 e para maiores de 64 anos se encontram no Apêndice II. A regressão que melhor se ajustou aos dados para os grupos com as demais faixas etárias, também ocorreu para o modelo Binomial Negativo.

Tabela 17. Análise de Deviance do modelo Binomial Negativo – Internações respiratórias para todas as faixas etárias, em Araucária.

Coefficientes	Diferença entre graus de liberdade	Deviance residual	Graus de liberdade	Deviance	Valor P
Nulo			1730	2041,9	<0,0001***
CO	1	29,9589	1729	2011,9	<0,0001***
NO ₂	1	15,7077	1728	1996,2	<0,0001***
O ₃	1	20,1272	1727	1976,1	<0,0001***
MP ₁₀	1	15,1334	1725	1960,7	<0,0001***
T _m	1	9,4698	1724	1951,3	<0,01**

*** p = 0,001; ** p = 0,01

Além do método gráfico de desvio normal, para seleção do melhor modelo, também foi utilizado o critério de comparação de Akaike (AIC). Na Tabela 18 se encontram os valores de AIC para as análises realizadas, comparando o modelo de Poisson e o Binomial Negativo. Foi selecionado o modelo cujo número de Akaike teve menor valor. Em todas as análises de internações por doenças respiratórias e circulatórias em Araucária, o modelo mais adequado utilizando este critério foi o Binomial Negativo, confirmando os resultados obtidos da análise gráfica.

Para alguns casos, foi obtido um bom ajuste pelo modelo de Poisson em Araucária, pois os resíduos se encontraram dentro do envelope (Apêndice II). No entanto, ao comparar o ajuste pelo critério de AIC (Tabela 18), pode-se observar que os melhores resultados continuam sendo para o modelo Binomial Negativo.

Tabela 18. Valores de AIC para os modelos de regressão estudados em Araucária.

Análise	Faixas etárias	Modelo	AIC
Doenças circulatórias	Todas as faixas etárias	Poisson	7026,7
		Binomial Negativo	6864,3
	20 a 64 anos	Poisson	5587,6
		Binomial Negativo	5521,2
	Maiores de 64 anos	Poisson	4565,4
		Binomial Negativo	4510,5
Doenças respiratórias	Todas as faixas etárias	Poisson	7131,9
		Binomial Negativo	6899,9
	0 a 9 anos	Poisson	3660,6
		Binomial Negativo	3635,0
	10 a 19 anos	Poisson	2260,8
		Binomial Negativo	2220,2
	20 a 64 anos	Poisson	3836,6
		Binomial Negativo	3821,7
	Maiores de 64 anos	Poisson	3660,8
		Binomial Negativo	3635,2

5.1.3 Internações por doenças circulatórias em Curitiba

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo Binomial Negativo (Figura 14) pelo método gráfico de *half normal plot*, como também encontrado nos resultados anteriores para o conjunto de dados de Araucária. Neste caso, para o modelo de Poisson (Fig. 14a) os resíduos se afastam muito do envelope, e com a distribuição Binomial Negativa (Fig. 14b), apesar de que vários resíduos não se encontram dentro do envelope, os pontos se encontram mais próximos do mesmo, se comparados com o modelo de Poisson.

Os gráficos e resultados para as internações por doenças circulatórias em Curitiba, para as faixas etárias entre 20 a 64 e para maiores de 64 anos se encontra no Apêndice II.

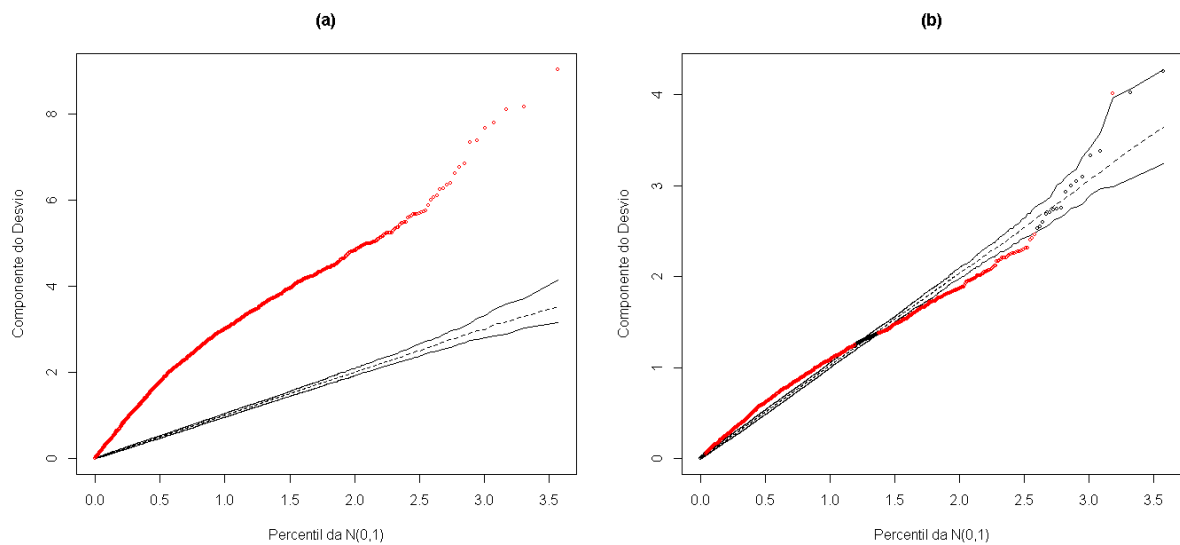


Figura 14. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações circulatórias em Curitiba, para todas as faixas etárias.

As associações mais importantes, de acordo com método de *deviance*, para internações por doenças circulatórias em Curitiba, foram com as variáveis CO, NO₂, O₃, MP₁₀, T_m e UR_m, de acordo com a Tabela 19.

Tabela 19. Análise de *Deviance* do modelo Binomial Negativo para internações circulatórias para todas as faixas etárias, em Curitiba.

Coefficientes	Diferença entre graus de liberdade	Deviance residual	Graus de liberdade	Deviance	Valor P
Nulo			1793	2009,2	
CO	1	17,324	1792	1991,8	<0,0001***
NO ₂	1	75,223	1791	1916,6	<0,0001***
O ₃	1	7,031	1790	1909,6	<0,01**
MP ₁₀	1	11,023	1789	1898,6	<0,0001***
T _m	1	5,529	1788	1893,0	<0,1*
UR _m	1	4,524	1787	1888,5	<0,1*

*** p = 0,001; ** p = 0,01; * p = 0,05

Na Tabela 20 se encontra o valor de AIC para comparação entre os modelos de Poisson e Binomial Negativo, sendo que estes valores assim como o método gráfico indicam que o melhor ajuste de dados ocorre para o modelo Binomial Negativo.

Tabela 20. Valores de AIC para os modelos de regressão estudados em Curitiba.

Análise	Faixas etárias	Modelo	AIC
Doenças circulatórias	Todas as faixas etárias	Poisson	21664
		Binomial Negativo	14621
	20 a 64 anos	Poisson	20117
		Binomial Negativo	13080
	Maiores de 64 anos	Poisson	12492
		Binomial Negativo	10957
Doenças respiratórias	Todas as faixas etárias	Poisson	16737
		Binomial Negativo	13034
	0 a 9 anos	Poisson	12411
		Binomial Negativo	10412
	10 a 19 anos	Poisson	7886,3
		Binomial Negativo	7332,5
	20 a 64 anos	Poisson	10801
		Binomial Negativo	9894,2
	Maiores de 64 anos	Poisson	8471,3
		Binomial Negativo	8233,9

5.1.4 Internações por doenças respiratórias em Curitiba

Novamente, comparando os gráficos de desvio normal, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo Binomial Negativo (Figura 15). A maior parte dos resíduos se encontram dentro do envelope, sendo que com a regressão de Poisson praticamente todos os resíduos se encontram fora do envelope.

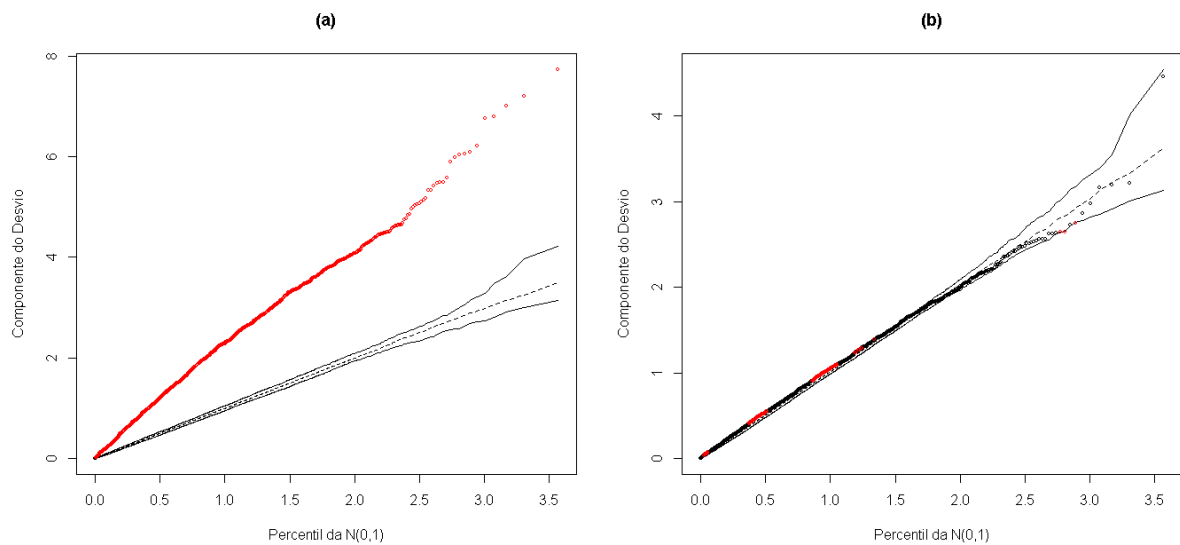


Figura 15. Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Curitiba, para todas as faixas etárias.

As associações mais importantes com as internações por doenças respiratórias em Curitiba, foram com as variáveis CO, NO₂, O₃, SO₂, MP₁₀, T_m, UR_m e P_m de acordo com método de *deviance* na Tabela 21.

Tabela 21. Análise de *Deviance* do modelo Binomial Negativo para internações respiratórias para todas as faixas etárias, em Curitiba.

Coefficientes	Diferença entre graus de liberdade	Deviance residual	Graus de liberdade	Deviance	Valor P
Nulo			1730	2037,4	<0,0001***
CO	1	35,670	1729	2001,7	<0,0001***
NO ₂	1	83,387	1728	1918,3	<0,0001***
O ₃	1	36,286	1727	1882,0	<0,0001***
SO ₂	1	5,836	1726	1876,2	<0,1*
MP ₁₀	1	23,455	1725	1852,7	<0,0001***
T _m	1	30,101	1724	1822,6	<0,0001***
UR _m	1	6,289	1723	1816,3	<0,1*
P	1	5,382	1722	1811,0	<0,1*

*** p = 0,001; ** p = 0,05

Os gráficos para as internações por doenças respiratórias em Curitiba, para as faixas etárias entre 0 a 9 anos, 10 a 19, 20 a 64 e para maiores de 64 anos se encontram no Apêndice II. O modelo mais adequado, por este método, nas demais faixas etárias, foi obtido para o modelo Binomial Negativo.

De acordo com os dois critérios de comparação, ou seja, a análise gráfica de desvio normal e valor de AIC, a regressão com a distribuição do tipo Binomial Negativa se ajustou melhor aos dados analisados e, portanto, foi escolhida essa distribuição para a análise das variáveis explanatórias para Araucária e Curitiba em todas as faixas etárias nas duas classes de doenças.

5.2 Ajuste do modelo de regressão

Com o modelo já selecionado, foram inseridas as variáveis explicativas, para encontrar um modelo mais robusto, onde se consideraram as tendências de curto e longo prazo.

5.2.1 Análise de tendências temporais

Nesta etapa foram adicionadas as variáveis de curto prazo: *dias de semana* e *feriados*, e variáveis de longo prazo: *dias* e sazonalidade. Também foi analisada a correlação de dados com o tempo e o fator defasagem.

5.2.1.1 Dias de semana e feriados

Na análise de inserção de fatores de curto prazo como as variáveis: *dias de semana* e *feriados*, o melhor modelo ocorreu com inclusão dos dias de semana, de acordo com método de comparação de AIC, para todas as análises. No caso da variável: *feriado*, o modelo de

regressão teve melhor ajuste nas análises com inserção desta variável, exceto no caso de internações respiratórias em Araucária para o grupo de 10 a 19 anos, onde o modelo de regressão final teve melhor ajuste quando não foi inserida a variável de curto prazo *feriado*.

5.2.1.2 Sazonalidade

De acordo com a tendência de longo prazo inserida neste modelo, a sazonalidade foi incluída mediante a função *splines cubica natural*, e comparando o número de AIC para inserção de 4 a 6 graus de liberdade por ano, o melhor resultado ocorreu para quatro graus de liberdade.

Ao inserir a variável *dias*, como fator de longo prazo, o melhor ajuste foi obtido para o modelo com a inclusão desta variável, em todas as análises.

5.2.1.3 Correlação de dados com o tempo

Nesta etapa, o ajuste de dados foi realizado quando os resíduos foram inseridos dentro do modelo de regressão devido a autocorrelação dos dados dentro dos sete primeiros dias. O menor valor de AIC ocorreu com a inserção do resíduo nos modelos para o grupo que incluía todas as faixas etárias em Araucária e Curitiba. Em Curitiba houve uma autocorrelação nos cinco primeiros dias de defasagens, portanto os resíduos foram inseridos dentro do modelo no grupo com todas as faixas etárias, sendo importantes no resultado final. Em Araucária também foram incluídos os resíduos no grupo com todas as faixas etárias, porém não houve alteração significativa. Nos demais modelos onde foram separados por faixa etária não foi incluído o resíduo, pois não houve mudança significativa do resultado final.

5.2.1.4 Defasagem

O atendimento ou internação hospitalar ocorre, geralmente, alguns dias após a exposição aos poluentes, por isso foi introduzido no modelo, como variável o tempo de defasagem do efeito que variou de 1 a 7 dias.

Pela análise de regressão, com introdução dos dias de defasagens, foi verificado que as associações mais significativas ocorreram para dias de defasagens maiores que um, sendo que em Araucária as associações mais importantes foram para *defasagem* de 3 dias para internações por doenças circulatórias para todas as idades, e *defasagem* de 5 dias para internações respiratórias. Em Curitiba as maiores associações foram com *defasagem* de 6 dias para internações por doenças circulatórias e *defasagem* de 3 dias para as internações respiratórias (todas as faixas etárias). Isto indica por exemplo, que apesar das concentrações de poluentes serem maiores no dia 1, o maior número de internação ocorreu após alguns dias da exposição (Tabela 22).

Tabela 22. Resultado do número de AIC e defasagem para cada região de estudo, e cada variável significativa para o modelo de regressão, com todas as faixas etárias.

Município	Análise	Idade	Defasagem	AIC	Variáveis significativas
Araucária	IDC*	Todas	3	6379	SO ₂
		20 a 64	4	5087	-
		>64	4	4267	CO
	IDR*	Todas	5	6107	O ₃ , T-T _m
		0 a 9	6	4257,4	-
		10 a 19	3	2096,7	CO, SO ₂ , T-T _m
20 a 64		7	3738	NO ₂	
		>64	6	3516	O ₃ , SO ₂ , T-T _m
Curitiba	IDC*	Todas	6	11282	MP ₁₀
		20 a 64	5	12109	CO, O ₃ , SO ₂
		>64	6	9552	T-T _m
	IDR*	Todas	3	10705	NO ₂ , MP ₁₀
		0 a 9	3	9696	SO ₂ , MP ₁₀ , P _m , T-T _m
		10 a 19	3	6647	SO ₂ , T-T _m
20 a 64		5	8866	CO, O ₃ , T-T _m	
		>64	5	7473	CO, O ₃ , UR _m

*IDC= internações por doenças circulatórias, e IDR= internações por doenças respiratórias.

No caso de Araucária, para as internações circulatórias no grupo de 20 a 64 anos, e em internações respiratórias de 0 a 9 anos, apesar de ter sido encontrado um modelo de regressão

que se ajustou aos dados, não se encontraram associações significativas para nenhum dos poluentes analisados, nem para as variáveis meteorológicas, indicando que outros tipos de poluentes e variáveis podem estar influenciando neste número de internações.

Em Araucária (Tabela 22) o poluente mais significativo para doenças circulatórias foi o SO₂ para todas as faixas etárias. Para doenças respiratórias em Araucária foram mais significativos o O₃ e a diferença entre a temperatura diária e temperatura média (T-T_m). Também foram significativos os dias de semana e feriados.

Em Curitiba para as doenças circulatórias, foram significativos a concentração de MP₁₀, considerando todas as faixas etárias. Para as doenças respiratórias foram significativas as concentrações do NO₂ e MP₁₀.

5.3 Avaliação do ajuste

Uma vez inseridas as variáveis, o modelo torna-se mais complexo, e para garantir o bom ajuste dos dados, os mesmos devem ser avaliados. A avaliação do ajuste foi realizada pelo método de resíduo de Pearson, também conhecido como estatística de χ^2 (Qui-quadrado). Neste trabalho, houve um bom ajuste para todas as análises pois seu valor se aproximou aos graus de liberdade (GL), ou seja, o quociente (χ^2 / GL) esteve próximo ao valor um.

De acordo com a Tabela 23, podemos observar, pelo valor do resíduo de Pearson que os melhores ajustes ocorreram em Araucária para o modelo de regressão para a faixa etária de maiores de 64 anos, tanto nas internações por doenças circulatórias, como para doenças respiratórias. Estes resultados demonstram que idosos maiores de 64 anos são o grupo mais suscetível à exposição de poluentes nesta região. Em Curitiba, o melhor ajuste para internações circulatórias foi para todas as faixas etárias e para a classe de doenças respiratórias para a faixa etária que vai de 20 a 64 anos, indicando esta faixa etária como a mais suscetível. Este resultado é coerente, considerando que esta faixa etária é composta na maioria de trabalhadores que se expõem mais frequentemente tanto aos poluentes ambientais analisados (por exemplo, nos deslocamentos para o trabalho) como a outros, oriundos do tipo de atividade realizada.

Tabela 23. Valor de χ^2 / gl (Qui quadrado / graus de liberdade) para análises mais significativas em Araucária e Curitiba, com seus respectivos tempos de defasagem.

Município	Análise	Faixa	Defasagem (dias)	χ^2/gl	Variáveis significativas
Araucária	IDC*	Todas	3	1,15655	SO ₂
		20 a 64	4	1,15841	-
		>64	4	1,08223	CO
	IDR*	Todas	5	1,15386	O ₃ , T-T _m
		0 a 9	6	1,02432	-
		10 a 19	3	0,67167	B _o , CO, SO ₂ , T-T _m
20 a 64		7	1,03284	B _o , NO ₂	
		>64	6	0,99085	O ₃ , SO ₂ , T-T _m
Curitiba	IDC*	Todas	6	1,09814	MP ₁₀
		20 a 64	5	1,18569	CO, O ₃ , SO ₂
		>64	6	1,10301	T-T _{média}
	IDR*	Todas	3	1,10077	NO ₂ , MP ₁₀
		0 a 9	3	1,12601	SO ₂ , MP ₁₀ , P _m , T-T _m
		10 a 19	3	1,17513	SO ₂ , T-T _m
		20 a 64	5	1,08545	CO, O ₃ , T-T _m
		>64	5	1,09254	CO, O ₃ , UR _m

*IDC= internações por doenças circulatórias, e IDR= internações por doenças respiratórias.

Em quase todos os casos os melhores resultados, com menor número de AIC, ocorreram quando foram inseridos no modelo as variáveis explicativas de curto e longo prazo, ou seja, dias de semana, feriados e sazonalidade. A exceção foi para o grupo de 10 a 19 anos para internações respiratórias em Araucária, onde a inserção de feriados como variável de curto prazo não resultou em valor mais próximo de 1 do quociente (χ^2 / gl).

5.3.1 Coeficiente de regressão

Os coeficientes do modelo de regressão (β) que foram estimados para a regressão com distribuição Binomial Negativa estão representados na seguinte equação:

$$\eta = \ln \frac{\mu}{k+\mu} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{CO} + \beta_2 \cdot \text{NO}_2 + \beta_3 \cdot \text{O}_3 + \beta_4 \cdot \text{SO}_2 + \beta_5 \cdot \text{PI} + \beta_6 \cdot \text{T}_m + \beta_7 \cdot \text{UR}_m + \beta_8 \cdot \text{P}_m + \beta_9 \cdot (\text{T}-\text{T}_m) + \beta_{10} \cdot \text{dia} + \beta_{11} \cdot \text{diasem} + \beta_{12} \cdot \text{feriado} + \beta_{13} \cdot \text{res} \quad (15)$$

Sendo: T_m , a temperatura média no período estudado; UR_m , a umidade relativa; P_m a pressão média; $(T-T_m)$ a diferença entre a temperatura diária e a temperatura média no período de estudo; $dias$ a variável que indica todos os dias analisados desde 2010 a 2014; $diasem$ os dias da semana de 1 a 7; $feriado$ a variável binomial que indica se um dia é feriado ou não; res o resíduo do modelo. Os valores dos coeficientes para as diferentes variáveis respostas se encontram nas Tabelas 24 a 27.

Tabela 24. Resultado do coeficiente de regressão e erro padrão correspondente por faixas etárias para internações circulatórias em Araucária.

Faixa etária	Variáveis	Coefficiente	Erro padrão	Defasagem (dias)
> 64 anos	CO	0,369040	0,182941	4

Na faixa de 20 a 64 anos não foi encontrado modelo com associações significativas com as concentrações de poluentes nem para variáveis meteorológicas, embora o menor número de AIC foi obtido para *defasagem* igual a 4 dias, o que indica que algum fator que não foi considerado no estudo pode estar contribuindo. Para doenças circulatórias a associação mais importante foi para idosos maiores de 64 anos devida a concentração de CO. O CO é um gás asfixiante, emitido principalmente por combustão, que interfere na capacidade de oxigenação do sangue e conseqüentemente pode causar efeitos negativos ao sistema circulatório. Esse resultado corrobora associações encontradas em outros trabalhos que também encontraram associação significativa da concentração CO com doenças cardiovasculares em idosos (SCHWARTZ, 1997; KOKEN et al., 2003; YALE UNIVERSITY, 2009).

A concentração do poluente SO₂, apresentou associação para o grupo com todas as faixas etárias em Araucária, porém com valor negativo do coeficiente de regressão, o que indicaria que outros fatores também estariam presentes nesta análise, que não foram considerados no estudo, também existe a possibilidade de que a adição das variáveis de tendências temporais possa ter diluído os resultados.

Como verificamos, a concentração do poluente CO impacta de forma negativa sobre à saúde, mesmo quando as concentrações não ultrapassaram os valores estabelecidos pela legislação ou os limites recomendados pela OMS.

Tabela 25. Resultado do coeficiente de regressão para doenças respiratórias em Araucária por faixas etárias e erro padrão correspondente.

Faixa etária	Variáveis	Coeficiente	Erro padrão	Defasagem (dias)
Todas as faixas	T-T _m	-0,0208211	0,0029091	5
	O ₃	0,0050621	0,0090562	
0 a 9 anos	-	-	-	6
10 a 19 anos	CO	0,880789	0,310529	3
	T-T _m	-0,051672	0,024320	
20 a 64 anos	NO ₂	0,0075509	0,0037490	7
> 64 anos	O ₃	0,009185	0,005119	6
	SO ₂	0,004409	0,002329	
	T-T _m	-0,033412	0,015669	

Os valores dos coeficientes de regressão para doenças respiratórias em Araucária, de acordo com a Tabela 25, apresentaram valores negativos para a variável (T-T_m), enquanto que para concentração de O₃, CO, NO₂ e SO₂ resultaram em valores positivos, indicando uma relação direta com o número de internações. A relação com a concentração de NO₂ apresentou-se positiva na faixa de 20 a 64 anos. Para a faixa de 10 a 19 anos foi encontrada uma associação positiva com a concentração de CO. Não foram encontradas associações significativas para as idades entre 0 a 9 anos nem com os poluentes nem com as variáveis meteorológicas. É importante destacar que neste estudo, o número de internações diárias efetivadas que ocorrem normalmente para os casos mais graves, por isso, algumas associações podem não ter sido evidenciadas.

Tabela 26. Resultado do coeficiente de regressão, erro padrão por faixas etárias e variável significativa e defasagem correspondente para internações circulatórias em Curitiba.

Faixa etária	Variáveis	Coeficiente	Erro padrão	Defasagem (dias)
Todas as faixas	MP ₁₀	0,001466	0,0007745	6
20 a 64 anos	SO ₂	0,009271	0,00495	5
> 64 anos	T-T _m	-0,009115	0,004084	6

Os valores dos coeficientes de regressão (Tabela 26), para internações por doenças circulatórias em Curitiba, apresentaram valores positivos para as variáveis do modelo com a concentração de MP_{10} e SO_2 , e associações negativas com $T-T_m$.

Os coeficientes de regressão para internações respiratórias em Curitiba, de acordo com a Tabela 27, apresentaram associações positivas para concentração de MP_{10} , CO e O_3 , e valores negativos com P_m , $T-T_m$. A associação significativa com ozônio foi positiva na faixa entre 20 a 64 anos.

Tabela 27. Resultado do coeficiente de regressão, erro padrão por faixas etárias, variável significativa e defasagem correspondente para internações respiratórias em Curitiba.

Faixa etária	Variáveis	Coefficiente	Erro padrão	Defasagem (dias)
Todas as faixas	MP_{10}	0,0016032	0,0008446	3
0 a 9 anos	MP_{10}	0,0031424	0,0014531	
	P_m	-0,0087781	0,0051137	3
	$T-T_m$	-0,0165055	0,0064409	
10 a 19 anos	$T-T_m$	-0,015676	0,008730	3
20 a 64 anos	CO	0,1387287	0,0589699	5
	O_3	0,0032847	0,0014820	
	$T-T_m$	-0,0189707	0,0050314	
> 64 anos	CO	0,130028	0,065732	5
	UR_m	-0,003913	0,001901	

5.4 Risco Relativo

Ao obter o modelo de regressão Binomial Negativo, com seus respectivos valores dos coeficientes de regressão (β), foi possível calcular o risco relativo e o intervalo de confiança (95%), para as faixas etárias analisadas no período estudado. Os valores se encontram na Tabela 28 para Araucária.

Tabela 28. Risco relativo e intervalo de confiança para todas as faixas etárias e doenças em Araucária.

	Faixa etária	Variáveis	RR	IC (95%)
IDC*	> 64 anos	CO	1,44635	1,01053-2,07012
IDR*	Todas as faixas	T-T _m	0,97939	0,97383-0,98499
		O ₃	1,00507	0,98739-1,02307
	10 a 19 anos	CO	2,4128	1,31279-4,43455
		T-T _m	0,94964	0,90544-0,99600
	20 a 64 anos	NO ₂	1,00758	1,0002-1,01501
	> 64 anos	O ₃	1,00923	0,99915-1,0194
		SO ₂	1,00442	0,99984-1,00901
T-T _m		0,96714	0,93789-0,9973	

*IDC= internações por doenças circulatórias, e IDR= internações por doenças respiratórias.

O risco relativo calculado para as variáveis que apresentaram associação, foi superior a 1 para o CO para doenças circulatórias em idosos (>64 anos) e respiratórias na faixa de 10 a 19 anos, indicando ser um fator de risco e que contribui para a internação hospitalar de idosos e jovens em Araucária. Esses resultados são coerentes, pois os idosos conhecidamente é um grupo mais vulnerável. Os adolescentes, por outro lado, em geral apresentam maior exposição, pelas atividades realizadas diariamente (brincar em ambiente aberto, ir e voltar da escola, etc), embora tenham um sistema imunológico menos suscetível quando comparado com os idosos. Além disso, na região de Araucária está localizada a maior parte das indústrias do estado, inclusive a Refinaria Presidente Vargas, consistindo em uma das principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos em Araucária. O NO₂ apresentou fator de risco na faixa de 20 a 64 anos também para doenças respiratórias. De acordo com os resultados de RR, calculados para Araucária, as demais variáveis, não podem ser consideradas fatores de risco. É importante mencionar que o baixo número de registro em algumas faixas etárias pode ter contribuído para não ter sido evidenciado o fator de risco.

Tabela 29. Risco relativo e intervalo de confiança para todas as faixas etárias e doenças em Curitiba.

	Faixa etária	Variáveis	RR	IC (95%)
IDC*	Todas as faixas	MP ₁₀	1,00147	0,99995-1,00299
	20 a 64 anos	SO ₂	1,00931	0,99957-1,01915
	> 64 anos	T-T _m	0,99889	0,98303-0,99889
IDR*	Todas as faixas	NO ₂	0,999842	0,99654-1,00029
		MP ₁₀	1,0016	0,99995-1,00326
	0 a 9 anos	MP ₁₀	1,00315	1,00029-1,00601
		P _m	0,99126	0,98137-1,00125
		T-T _m	0,98363	0,971291-0,996126
	10 a 19 anos	T-T _m	0,98445	0,96774-1,00144
	20 a 64 anos	CO	1,14881	1,02342-1,28957
		O ₃	1,00329	1,00038-1,00621
		T-T _m	0,98121	0,97158-0,99093
	> 64 anos	CO	1,13886	1,00119-1,29546
UR _m		0,99609	0,99239-0,99981	

*IDC= internações por doenças circulatórias, e IDR= internações por doenças respiratórias.

Em Curitiba apresentaram ser fator de risco (Tabela 29) para doenças respiratórias, o MP₁₀ na faixa de 0 a 9 anos, o CO e O₃ na faixa de 20 a 64 anos e o CO para os idosos (> 64 anos). Esses resultados apresentam ser consistentes tanto para os poluentes quanto em relação às faixas etárias. Na cidade de Curitiba, a principal fonte de emissão de poluentes é a atividade veicular que pela combustão emite CO e precursores de ozônio, além de promover a ressuspensão de poeira do solo (MP₁₀) pela grande circulação de veículos.

Vários estudos concordam que CO, NO₂, O₃ e MP₁₀ pode provocar implicações à saúde humana, contribuindo para o surgimento de doenças cardiorrespiratórias e agravamento das pré-existentes (WHO, 2006; KÜNZLI et al., 2010).

Estes resultados concordam com outros estudos realizados na região de Curitiba. De acordo com Bakonyi et al., 2004, um aumento na concentração dos poluentes MP₁₀, NO₂, O₃ e fumaça aumenta o número de atendimentos por doenças respiratórias em Curitiba, em crianças de 0 a 14 anos, mesmo quando estes valores se encontram abaixo dos limites estabelecidos pela legislação. Durante 1999 a 2000, período em que o estudo foi realizado, a concentração de MP₁₀, O₃ e fumaça, ultrapassaram os limites de qualidade do ar estabelecido pelo CONAMA.

Nesta análise os poluentes que ultrapassaram limites de concentração recomendados pela OMS foram SO₂, MP₁₀ e O₃.

Outros estudos em Curitiba demonstraram o aumento de mortalidade em idosos por incremento nas concentrações de PTS e SO₂ (ESQUIVEL et al., 2011), e aumento de morbidade respiratória em crianças e idosos devido ao MP₁₀ e a temperatura (GUIMARÃES et al., 2012).

5.4.1 Risco atribuído a saúde

O PRA, proporção de risco atribuído à população (WHO, 1999), foi calculado para MP₁₀ e O₃, por apresentarem ultrapassagem dos valores padrões recomendados pela Organização Mundial da Saúde, além disso o MP₁₀ e O₃ possuem o maior risco relativo (RR>1) quando comparadas as associações para o grupo com todas as faixas etárias. As concentrações de SO₂ também ultrapassaram os valores limites recomendados pela OMS, no entanto, não foi obtido o RR que permitiria o cálculo de risco atribuível à saúde, portanto, o PRA não foi calculado para este poluente.

Nesta etapa foram consideradas as interações por doenças circulatórias e respiratórias para toda a população (todas as faixas etárias) na RMC, utilizando os valores de RR calculados anteriormente e que se encontram na Tabela 30.

Tabela 30. Valores de RR utilizados no cálculo de Risco atribuído, para todas as faixas etárias.

Poluente	Interação	Risco Relativo	Intervalo de Confiança 95%
MP₁₀	Circulatória	1,00147	(0,99995-1,00299)
	Respiratória	1,0016	(0,99995-1,00326)
O₃	Circulatória	-	-
	Respiratória	1,00507	(0,98739-1,02307)

Com as concentrações de valores de 8 horas de O₃, foi obtido o valor máximo diário e e foram somados os dias de cada mês, em que houve ultrapassagem do valor recomendado pela OMS. Nos períodos que os padrões foram ultrapassados, foi realizado o cálculo de risco atribuído a população. Para o cálculo do risco devido a concentração de MP₁₀ foi considerada a média anual do poluente.

O número de internações por doenças circulatórias e respiratórias registrados na RMC, ponderado para 100 mil habitantes, para os períodos analisados com todas as faixas etárias incluídas se encontram na Tabela 31.

Tabela 31. Número total de hospitalizações ponderado por 100mil habitantes registradas na RMC, para 2010 a 2014.

Período	IDC*	IDR*
2010	969	805
2011	950	740
2012	940	719
2013	922	721
2014	898	712
Agosto / 2010	89	75
Outubro / 2010	80	67
Janeiro / 2014	71	49
Fevereiro / 2014	68	50

*IDC= internações por doenças circulatórias, e IDR= internações por doenças respiratórias.

Conforme cálculos propostos pela OMS e explicitados anteriormente na metodologia, foi calculado o número de internações associadas aos poluentes MP₁₀ e O₃ (Tabela 32). Quanto maior a concentração do poluente, maior é o número de internações associadas, sendo que essas internações estão relacionadas principalmente às doenças do sistema respiratório.

Tabela 32. Número de hospitalizações por doenças circulatórias e respiratórias calculadas associadas a concentração de MP₁₀ e O₃.

	Período	Concentração Media	Desvio Padrão	Hospitalizações Circulatórias	Hospitalizações Respiratórias
MP₁₀ (µg m⁻³)	2010	26,9	8,4	32	29
	2011	28,0	11,0	36	31
	2012	27,8	9,2	35	29
	2013	22,1	8,0	9	8
O₃ (µg m⁻³)	Agosto / 2010	117,6	14,6	-	33
	Outubro / 2010	109,1	10,7	-	10
	Janeiro / 2014	101,2	11,9	-	1
	Fevereiro / 2014	114,2	13,6	-	23

No ano de 2014 não foram analisadas as internações associadas ao material particulado pois a concentração média anual não ultrapassou o limite anual recomendado pela OMS de 20 µg m⁻³. O número de internações associadas ao poluente MP₁₀ foi maior para as doenças circulatórias. Em relação as internações associadas ao ozônio, foram maiores em agosto de 2010, quando a concentração do poluente teve seu maior valor médio mensal (valor em 8h diárias).

Como não houve risco significativo para O₃, para todas as faixas etárias e internações circulatórias, não foi realizado o cálculo do número de hospitalizações.

Apesar de terem sido encontradas importantes associações do poluente CO com as internações respiratórias e circulatórias, especialmente para idosos em Curitiba e na faixa de 10 a 19 anos em Araucária, não foi calculado o risco atribuído ao CO, pois este poluente não ultrapassou os valores recomendados pela OMS. No entanto, a importante relação encontrada no modelo, indica que este poluente impacta de forma negativa na saúde humana, mesmo com as concentrações abaixo das que foram estabelecidas pela legislação nacional, ou dos valores recomendados pela OMS.

5.5 Comentários gerais

Uma das dificuldades deste trabalho foi a lenta disponibilização dos dados de concentração de poluentes já que os mesmos não se encontravam disponíveis online. As variáveis meteorológicas foram prontamente enviadas pelos órgãos responsáveis ou descarregadas diretamente da internet.

Uma das características deste tipo de estudo, é que não há observação individual nem seguimento dos indivíduos, no entanto, uma vez que todos os dados necessários para a análise estão disponíveis, o estudo é rápido e de baixo custo.

As internações foram relacionadas com concentração de poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas, no entanto, há outros fatores que influenciam na saúde tais como genética, idade, estado de saúde, nutrição, higiene, se a pessoa é fumante, características do local de moradia, condições da vizinhança, condição social, cultural, entre outros (WHO, 2006).

Os dados de internações, obtidos do SUS, pode não estar representando o total da população, pois nestes registros não se encontram dados de internações de hospitais particulares que não tem convênio com o SUS. Pode haver também um viés de informação, sendo que são possíveis erros de contagem no número de internações ou no processamento dos dados (JASINSKI et al., 2011).

Como não são fornecidos dados de cada paciente, cada internação é contabilizada por separado. Pode ocorrer que um mesmo paciente seja internado duas ou mais vezes, ocasionando uma dependência entre a variável resposta. Neste caso o viés de informação ocorre, pois, esta variável foi considerada como sendo independente.

Outra limitação seria no caso de pessoas que residem em um local de certas características ambientais e trabalham em outro bairro ou município de características muito diferentes, e inclusive no fato de essa pessoa ser internada em um local distinto ao local de residência ou de trabalho.

As análises foram realizadas com as concentrações dos poluentes que são monitorados pelas estações, no entanto seria necessário realizar uma análise com $MP_{2,5}$ e inclusive partículas ultrafinas. Porém, isto não foi possível pela falta de série de dados completos de $MP_{2,5}$ para o período estudado. As partículas mais finas são mais prejudiciais já que ingressam nas vias

respiratórias podendo alcançar o nível sanguíneo, devido ao seu tamanho (WHO, 2006; MARTINS et al., 2010).

Outro fator não considerado neste tipo de estudo é o efeito sinérgico entre os poluentes que pode ocasionar um maior impacto na saúde humana, os efeitos seriam potencializados quando os poluentes se encontram em conjunto, em relação aos efeitos individuais. Este efeito sinérgico não é considerado nos cálculos de regressão ou de risco à saúde.

De acordo com Braga et al. (2001) ao realizar uma análise onde se incluem os poluentes MP₁₀, O₃, SO₂, CO e NO₂ no mesmo modelo de regressão, o coeficiente de regressão aumenta para o MP₁₀, enquanto que para os demais poluentes diminui, especialmente no caso do NO₂.

Os valores de RR tendem a ser maiores por mortalidade e morbidade respiratória se comparados com doenças circulatórias. No entanto, o número de mortes por doenças cardiovasculares é maior devido ao alto impacto ocasionado pela exposição a poluição do ar, e precisam ser analisados com maior profundidade (KÜNZLI et al., 2010).

É necessário ressaltar que nenhuma das doenças associadas à poluição do ar são específicas da exposição a este tipo de poluição, podem haver muitos outros fatores responsáveis por estes efeitos à saúde que também podem contribuir para que ocorram problemas à saúde, que sejam parecidos ou idênticos àqueles relatados em qualquer estudo.

O estudo realizado apresentou resultados coerentes e compatíveis com outros estudos realizados, apresentando ser fator de risco a concentração de CO (SCHWARTZ, 1997; KOKEN et al., 2003; YALE UNIVERSITY, 2009).

Sugere-se que para melhora da qualidade do ar, devem ocorrer mudanças nos combustíveis visando a redução das emissões, a promoção do uso de energias renováveis, tecnologias e processos sustentáveis por parte de indústrias, melhor planejamento urbano com fim de reduzir congestionamentos, , melhora do sistema de transporte público para poder incentivar o uso pela população, construção de ciclovias, o estabelecimento de políticas mais rígidas nos limites de concentração de poluentes e uma participação da população na cobrança por ações mais rígidas de controle com fim de atender aos Padrões de Qualidade do Ar, e assim como, maior conscientização e censo crítico da população.

6 CONCLUSÕES

Nesta análise foram encontradas relações entre internações diárias por doenças circulatórias e respiratórias e concentração de poluentes e variáveis meteorológicas nos municípios de Araucária e Curitiba. Com estas associações foi possível o cálculo de risco relativo a saúde. As principais conclusões, considerando o período estudado e variáveis utilizadas são:

- As concentrações dos poluentes em geral estão abaixo dos limites estabelecidos pela OMS, porém SO_2 , MP_{10} e O_3 ultrapassaram estes limites. Em Araucária, as concentrações de SO_2 , NO_2 e MP_{10} são maiores do que em Curitiba, devido à grande concentração de indústrias. Curitiba que apresenta grande circulação de veículos, possui maiores concentrações de CO e O_3 .
- As internações por doenças circulatórias e respiratórias em Araucária e Curitiba, no período de 2010 a 2014, possuem maior número proporcionalmente de circulatórias em adultos e idosos e respiratórias em crianças. Em Araucária, o número de internações é maior por doenças circulatórias e também para as respiratórias, mesmo com uma população menor ao comparar com Curitiba, o que indica que a poluição está afetando a saúde da população, no entanto, outros fatores podem estar presentes, tais como socioeconômicos podem estar impactando nessa região.
- Foi encontrado que o modelo mais adequado para a análise de regressão para este banco de dados é o modelo com distribuição Binomial negativa.
- As doenças circulatórias apresentaram os melhores resultados (menor AIC), com defasagem de 3 dias em Araucária, para todas as faixas etárias, e de 4 dias para idosos maiores de 64 anos, na população de 20 a 64 anos não houve nenhuma associação significativa com a concentração de poluentes ou com variáveis meteorológicas. Em Curitiba, os resultados mais significativos com as internações circulatórias ocorreram com defasagem de 6 dias para todas as faixas etárias, 5 dias na faixa de 20 a 64 anos e de 6 dias para maiores de 64 anos.

- Para doenças respiratórias em Araucária, os menores valores de AIC ocorreram com defasagem de 5 dias para todas as idades, 3 dias na faixa de 10 a 19 anos, 7 dias para adultos de 20 a 64 anos e 6 dias para maiores de 64 anos. As internações respiratórias em crianças de 0 a 9 anos não tiveram associação significativa com poluentes atmosféricos ou com dados meteorológicos, provavelmente devido ao baixo número de internações de crianças em Araucária, já que nem todos os dias houve internação. Em Curitiba as defasagens encontradas para doenças respiratórias para todas as idades, crianças de 0 a 9 anos e 10 a 19 anos foi de 3 dias de defasagem, e no caso de adultos de 20 a 64 anos e para maiores de 64 anos foi de 5 dias.
- A associação mais importante em Araucária para internações circulatórias foi com a concentração de SO₂, para todas as faixas etárias e o CO para maiores de 64 anos, nas internações respiratórias, para todas as idades a maior relação foi encontrada para O₃ e T-T_m, na faixa de 10 a 19 anos foram CO, NO₂ e T-T_m, para 20 a 64 anos foi o NO₂, e para maiores de 64 anos foram O₃, SO₂ e T-T_m.
- Em Curitiba a associação mais importante para internações circulatórias foi com a concentração de MP₁₀, para todas as faixas etárias, CO, O₃ e SO₂ para 20 a 64 anos e a T-T_m para maiores de 64 anos. Nas internações respiratórias, para todas as idades a maior relação foi encontrada para NO₂ e MP₁₀, na faixa de 0 a 9 anos foi para SO₂, MP₁₀, P_m e T-T_m, para 10 a 19 anos foram SO₂ e T-T_m, para 20 a 64 anos foi o CO, O₃ e T-T_m, e para maiores de 64 anos foram CO, O₃ e UR_m.
- O grupo de idosos com mais de 64 anos foi encontrado como mais susceptível em Araucária, tanto para doenças circulatórias como para respiratórias. Em Curitiba foram susceptíveis o grupo com todas as faixas etárias para internações circulatórias e o grupo de 20 a 64 anos para internações respiratórias.
- Em Araucária os fatores de risco significativo estatisticamente foram para internações circulatórias em maiores de 64 anos devido ao CO, e nas internações respiratórias na faixa etária de 10 a 19 anos para o poluente CO. Também foi importante o RR na faixa de 20 a 64 anos para o NO₂.

- Em Curitiba os fatores de risco significativos foram para internações por doenças respiratórias na faixa de 0 a 9 anos devido ao MP₁₀, na faixa de 20 a 64 anos para CO e O₃, e para maiores de 64 anos devido ao CO.
- Foram atribuídas 112 internações devido ao MP₁₀, do total de 3781 internações (ponderadas) por doenças circulatórias na RMC no período de 2010 a 2014. De 3697 hospitalizações respiratórias no período de 2010 a 2014 na RMC, 97 foram atribuídas ao MP₁₀.
- Em relação ao poluente O₃ foram atribuídas 33, 10, 1 e 23 internações por doenças respiratórias para os meses de agosto de 2010, outubro de 2010, janeiro de 2014 e fevereiro de 2014, respectivamente.

Concluimos que os maiores fatores de risco em Araucária foram encontrados para o CO, e NO₂, e em Curitiba foram CO, MP₁₀ e O₃, verificando que a exposição aos poluentes atmosféricos é prejudicial à saúde mesmo quando suas concentrações se encontram abaixo dos padrões estabelecidos na legislação. O grupo de idosos e crianças são conhecidos como mais suscetíveis, no entanto os grupos de 10 a 19 anos e 20 a 64, também foram encontrados suscetíveis para internações respiratórias e circulatórias, para determinados poluentes. As defasagens mais significativas ocorrem entre 3 a 7 dias após a exposição a este tipo de poluição. Quanto maiores as concentrações que ultrapassam os limites recomendados, mais altos são os números de internações associadas.

7 SUGESTÕES

Foram considerados neste estudo todas as doenças circulatórias e todas as doenças respiratórias, os resultados poderiam variar se fossem utilizadas internações por algumas doenças específicas, como variável dependente, por exemplo, bronquite, pneumonia, asma, infartos, entre outras (BRAGA et al., 2001). Ao invés do uso de número de internações como variável resposta, poderiam ser utilizados o número de atendimentos diários, caso estes dados estejam disponíveis, o que resultaria em maior número de pacientes já que as internações são realizadas apenas para casos mais graves.

Sugere-se a estratificação por faixas etárias menores por exemplo, para crianças de 0 a 5 anos, ao invés de 0 a 9, pois os efeitos seriam diferentes, uma vez que nesta faixa com idades menores, as crianças ainda não possuem o sistema respiratório completamente desenvolvido, além de possuírem maior taxa respiratória quando comparada aos adultos (BRAGA et al., 2001; JASINSKI et al., 2011; ARBEX et al., 2012).

Outra sugestão seria inserir outras variáveis explicativas no modelo, tais como: fator sócio econômico, ou buscar o melhor ajuste do modelo de regressão com temperaturas extremas, tais como temperaturas máximas e mínimas, para verificar seu impacto sobre a variável resposta.

O risco relativo pode ser utilizado nos próximos estudos para previsão de cenários e para estimações futuras com diferentes estimações de concentração de poluentes.

8 REFERÊNCIAS

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.

ARBEX, M.A.; SANTOS, U.P.; MARTINS, L.C.; SALDIVA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. J. Bras. Pneumol. (38) 5: 643-655, 2012.

ARTAXO, P. **A problemática da poluição do ar em regiões metropolitanas**. Revista Ambiente Urbano e Qualidade de Vida, v.3, p.28-36, 1991.

BANCO DE SAÚDE. **CID 10 - Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde**. Disponível em:< <http://cid10.bancodesaude.com.br/cid-10/capitulos>>. Acesso em: 2015.

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

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.

BROOK, R.D. **Why physicians who treat hypertension should know more about air pollution**. J. Clin. Hypertens. Greenwich, 9, 629-635. 2007.

CAIRNCROSS E.K., JOHN J., ZUNCKEL M. **A novel air pollution index based on the relative risk of daily mortality associated with short-term exposure to common air pollutants.** Atmospheric Environment 41: p. 8442-8454, 2007.

CANÇADO J.E.D., BRAGA A., PEREIRA L.A.A., ARBEX M.A., SALDIVA P.H.N., Santos U.P. **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica.** J. Bras. Pneumol. 32(Supl 1): s5-s11, 2006.

CASTRO H.A., HACON S., ARGENTO R., JUNGER W.L., MELLO C.F., JÚNIOR N.C., COSTA J.G. **Doenças respiratórias e poluição atmosférica no Município de Vitória, Espírito Santo, Brasil.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 23 Sup 4: p. 5630-5642, 2007.

CASTRO H.A., CUNHA M.F., SILVA MENDONÇA G.A., JUNGER W.L., CUNHA-CRUZ J., LEON A.P. **Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ.** Revista Saúde Pública; 43(1): 26-34, 2009.

CETESB, 2013. **Relatório da qualidade do ar no estado de São Paulo 2012.** Série Relatórios/CETESB, São Paulo, 2013, 120 p. (ISSN 0103-4103).

CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. **Numerical methods for engineers with personal computer applications.** Segunda edição. EUA: McGraw-Hill International Editions, 570 p. 1987.

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

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

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

COMEC, abril-2015. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, Secretaria do Desenvolvimento Urbano do Paraná. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br/>>. Acesso em: abril 2015.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. **A Cidade de Curitiba e a Poluição do Ar: Implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno.** In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.

DATASUS – Departamento de Informática do SUS. Internações hospitalares do SUS por local de internação. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/rxdescr.htm>>. Acesso em: junho 2015.

DEMÉTRIO, C.G.B. **Modelos lineares generalizados em experimentação agrônômica.** Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

DENATRAN, 2010. Departamento Nacional de Trânsito. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: Dezembro 2014.

DE PAULA, S.U., BRAGA, A.L., GIORGI, D.M., PEREIRA, L.A., GRUPI, C.J., LIN, C.A., BUSSACOS, M.A., ZANETTA, SALDIVA, PHN; FILHO, M.T. **Effects of air pollution on blood pressure and heart rate variability: a panel study of vehicular traffic controllers in the city of São Paulo, Brazil.** *Eur. Heart J.*, 26, 193-200. 2005.

ESQUIVEL, G.A.R.; GOMES, J.; GRAUES, A.F. **Avaliação da correlação entre as concentrações de poluentes atmosféricos e a mortalidade de idosos no município de Curitiba.** *Engenharia Sanitária Ambiental*. Vol. 16, n.4: p. 387-394, out/dez 2011.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **What are the six common air pollutants.** Disponível em < <http://www3.epa.gov/airquality/urbanair/>>. Acesso em: 2015.

FANG, Y.; MAUZERALL D. L.; LIU, J.; FIORE, A. M.; HOROWITZ, L. W. **Impacts of 21st century climate change on global air pollution-related premature mortality.** *Climate Change*, vol. 121, p.239-253, 2013.

FISCHER P.H., MARRA M., AMELING C.B., JANSSEN N., CASSEE F.R. **Trends in relative risk estimates for the association between air pollution and mortality in the Netherlands, 1999-2006.** *Environmental Research* 111, p. 94-100, 2011.

GUIMARÃES, P.R.B.; BERGER, R.; PEREZ, F.L.; PIRES, P.T.L. **Relações entre as doenças respiratórias e a poluição atmosférica e variáveis climáticas na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil.** *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 817-828, out/dez 2012.

GOUVEIA, N.; FREITAS, C.U.; MARTINS, L.C.; MARCILIO, I.O. **Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 22 (12): 2669-2677. 2006.

GURJAR B. R.; JAIN A.; SHARMA A.; AGARWAL A.; GUPTA P.; NAGPURE A.S.; LELIEVELD J. **Human health risks in megacities due to air pollution.** Atmospheric Environment 44, p. 4606-4613, 2010.

HOFFMAN, B.; MOEBUS, S.; MOHLENKAMP, S.; et al. **Residential exposure to traffics with coronary atherosclerosis.** Circulation, 116: 489-496. 2007.

IAP, 2012. Instituto Ambiental do Paraná. **Boletins de monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana de Curitiba.** Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=639>>. Acesso em: 2014.

IAP, 2013. Instituto Ambiental do Paraná. **Inventário Estadual de Emissões atmosféricas de poluentes (MP, CO, NO_x, SO_x) e propostas para revisão e ampliação da rede de monitoramento da qualidade do ar do Estado do Paraná-Relatório Final.**

IAPAR, 2016. Instituto Agrônomo do Paraná. **Médias Históricas em Estações do IAPAR-PINHAIS.** Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Pinhais.htm>.

IBGE, 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades.** Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>

IPARDES, 2010. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&istemas=1&cod_sistema=5&grupo_indic=2>.

JASINSKI R., PEREIRA L.A.A., BRAGA A.L.F. **Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil entre 1997 e 2004.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 27(11): p. 2242-2252; nov. 2011.

JUNGER W.L., LEON A.P., MENDONÇA G.A.S. **Associação entre mortalidade diária por câncer de pulmão e poluição do ar no Município do Rio de Janeiro: um estudo ecológico de séries temporais.** Revista Brasileira de Cancerologia; 51(2): p. 111-115, 2005.

KATSOUYANNI K., SCHWARTZ J., SPIX C., TOULOUMI G., ZANOBETTI A., WOJTYNIAK B., VONK J.M., TOBIAS A., PONKA A., MEDINA S., BACHAROVA L., ANDERSON H.R. **Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol.** Journal of Epidemiology and Community Health; 50, Suppl. 1: s12-s18, 1996.

KOKEN, P.J.M.; PIVER, W.T.; YE, F.; ELIXHAUSER, A.; OLSEN, L.M.; PORTIER, C.J. **Temperature, air pollution, and hospitalization for cardiovascular diseases among elderly people in Denver.** Environmental Health Perspectives, 111(10): 1312-1317. August 2003.

KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. **Air Quality and Health.** EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY. 2010.

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>>.

LE TERTE A., MEDINA S., SAMOLI E., FORSBERG B., MICHELOZZI P., BOUMGHAR A., VONK J.M., BELLINI A., ATKINSON R., AYRES J.G., SUNYER J., SCHWARTZ J., KATSOUYANNI K. **Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities.** J. Epidemiol. Community Health; 56: p. 773-779, 2002.

LIMA-COSTA M., BARRETO S.M. **Tipos de estudos epidemiológicos: conceitos básicos e aplicações na área do envelhecimento.** Epidemiologia e Serviços de saúde; 12(4): 189-201; 2003.

LOOMIS D., GROSSE Y., LAUBY-SECRETAN B., EL GHISSASSI F., BOUVARD V., BENBRAHIM-TALLAA L., GUHA N., BAAN R., MATTOCK H., STRAIF K. **The carcinogenicity of outdoor air pollution.** The Lancet / Oncology. Dec; 14(13):1262-1263. 2013. Doi: <[http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(13\)70487-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(13)70487-X)>.

MARTINS, L.D.; MARTINS, J.A.; FREITAS, E.D.; MAZZOLI, C.R.; GONCALVES, F.L.T.; YNOUE, R.Y.; HALLAK, R.; ALBUQUERQUE, T.T.A.; ANDRADE, M.D. **Potential health impact of ultrafine particles under clean and polluted urban atmospheric conditions: a model-based study.** Air Qual. Atmos. Health 3 (1): 29–39. 2010 <<http://dx.doi.org/10.1007/s11869-009-0048-9>>.

MORRIS D., NAUMOVA E.N., MUNASINGHE R.L. **Ambient Air Pollution and Hospitalization for Congestive Heart Failure among Elderly People in Seven Large US Cities.** American Journal of Public Health, October, Vol. 85, Nº 10. p. 1361-1365, 1995.

NASCIMENTO, L.F.C.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F.; MÓDOLO, M.C.C.; CARVALHO JR., J.A. **Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP.** Revista Saúde Pública, 40(1): 77-82, 2006.

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.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R.W.M. **Generalized linear models.** Journal of the Royal Statistical Society, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

NEUPANE B., JERRETT M., BURNETT R.T., MARRIE T., ARAIN A., LOEB M. **Long-term exposure to ambient air pollution and risk of hospitalization with community-acquired pneumonia in older adults.** American Journal Respiratory and Critical Care Medicine, vol. 181(1):47-53; 2010. <<http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200901-0160OC>>.

POLONIECKI J.D., ATKINSON R.W., LEON A.P., ANDERSON H.R. **Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK.** Occupational and Environmental Medicine; 54: p. 535-540, 1997.

POPE C.A., BURNETT R.T., THURSTON G.D., THUN M.J., CALLE E.E., KREWSKI D., GODLESKI J.J. **Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease.** Circulation, 109(1):71-7, 2004.

POSADA, D.; BUCKLEY, T.R. **Model selection and model averaging in phylogenetics: advantages of Akaike information criterion and bayesian approach over likelihood ratio tests.** Systematic Biology, p. 793-808, 2004.

PNUD, 2010. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/ranking-idhm-municipios-2010.aspx>>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing/** R version 3.1.3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014. <<http://www.R-project.org/>>.

SALDIVA, P.H.N.; POPE III, C.A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D.W.; LICHTENFELS, A.J.; SALGE, J.M.; BARONE, I.; BOHM, G.M. **Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil.** Archives of Environmental Health, v. 50, 1995.

SEINFELD H. J.; PANDIS, N. S. **Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change.** New York, USA. John Wiley & Sons, Inc., 1998. 1326p.

SCHWARTZ, J.; SPIX, C.; TOULOUMI, G.; BACHÁROVÁ, L.; BARUMAMDZADEH, T.; TETRE, A. LE; PIEKARKSI, T.; PONCE DE LEON, A.; PÖNKÄ, A.; ROSSI, G.; SAEZ, M. & SCHOUTEN, J.P. **Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions.** Journal of Epidemiology and Community Health, v.50, Suppl.1, p. s3-s11. 1996.

SCHWARTZ, J. **Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Tucson.** Epidemiology. Jul; 8(4): 371-377. 1997.

SCHWARTZ, J. **Air Pollution and Children's Health.** Pediatrics, vol. 113 N° 4, 1037-1043. 2004.

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. 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.

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.

VANOS J. K., HEBBERN C., CAKMAK, S. **Risk assessment for cardiovascular and respiratory mortality due to air pollution and synoptic meteorology in 10 Canadian cities.** Environmental Pollution 185. p. 322-332, 2014.

YALE UNIVERSITY. “Carbon Monoxide Linked To Heart Problems In Elderly”. ScienceDaily. 1 September 2009. Disponível em: <www.sciencedaily.com/releases/2009/08/090831213225.htm>.

WAGNER, M.B.; CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Medidas de associação em estudos epidemiológicos: risco relativo e odds ratio.** *Jornal de Pediatria*, 74:247-251, 1998.

WHO (World Health Organization), 1999. **Monitoring Ambient Air Quality for Health Impact Assessment, WHO Regional Publications, European Series No. 85.** WHO, 1999.

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>>.

WHO (World Health Organization), 2006. **Air Quality Guidelines: global update 2005.** WHO, 2006. Disponível em: <http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf>.

WHO (World Health Organization), 2014. **Burden disease from Household Air Pollution for 2012, Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012.** Disponível em: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf>. Acesso em: 2015.

WRPLOT View, versão 7.0.0. Disponível em: <<http://www.weblakes.com/products/wrplot/>>.

APÊNDICE I

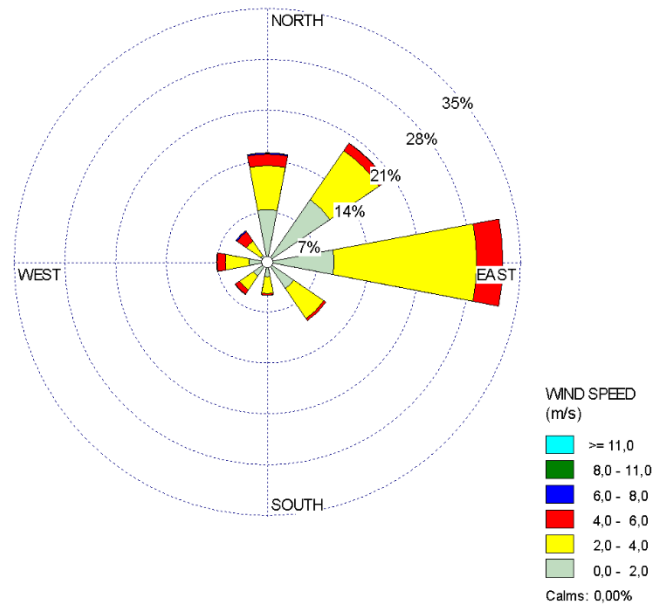


Figura A1: Rosa dos ventos na estação SIMEPAR-Lapa, no período de 2010-2014.

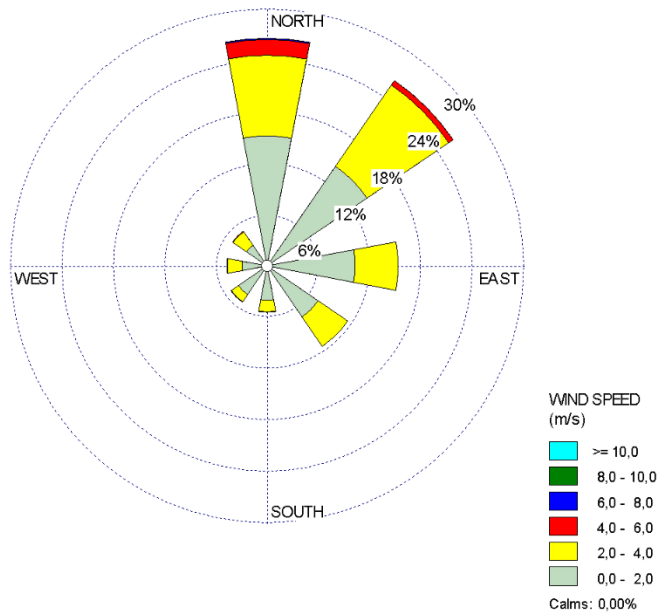


Figura A2: Rosa dos ventos na estação SIMEPAR-Pinhais no período de 2010-2014.

APÊNDICE II

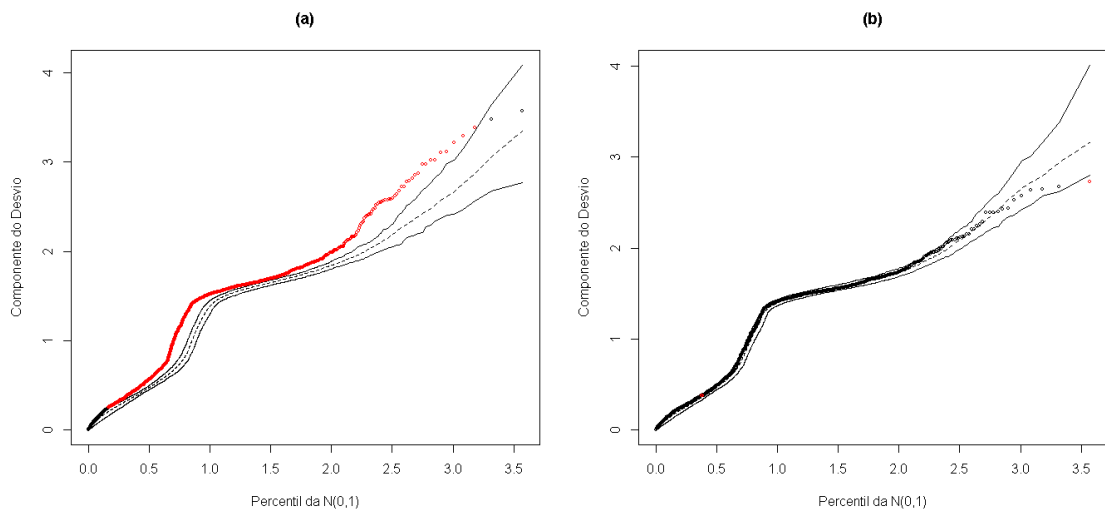


Figura A3: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações circulatórias em Araucária para faixa de 20 a 64 anos.

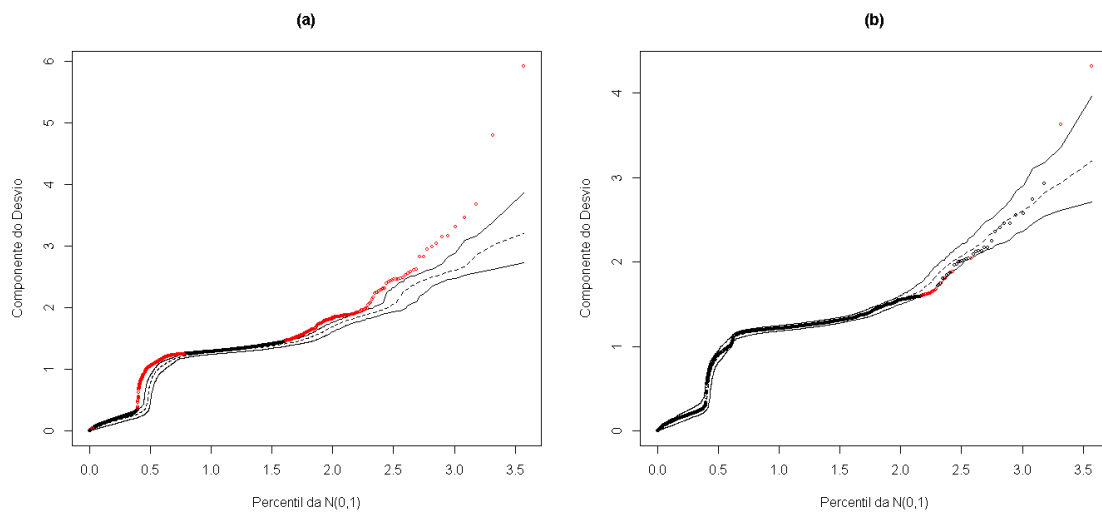


Figura A4: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações circulatórias em Araucária para maiores de 64 anos.

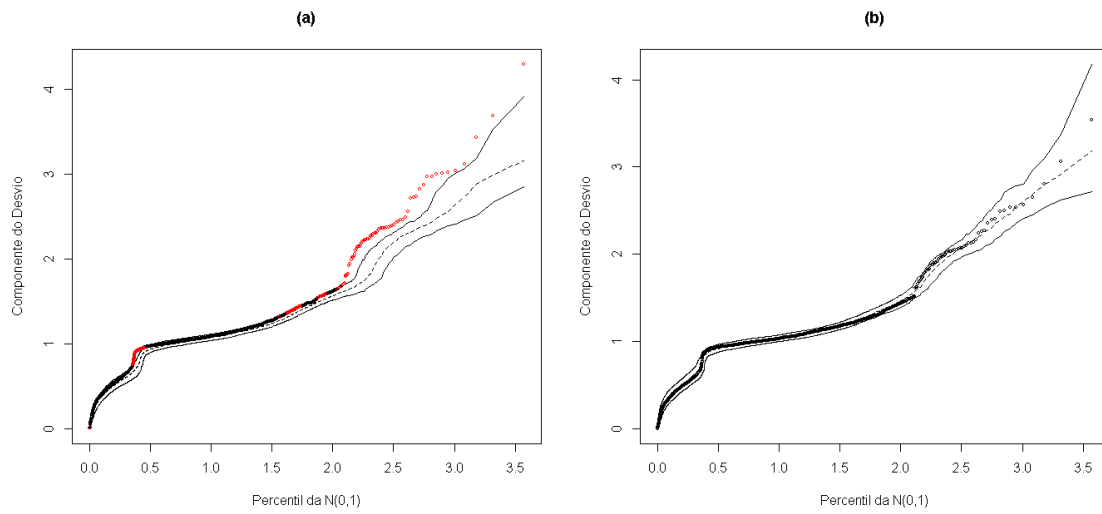


Figura A5: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Araucária para faixa de 0 a 9 anos.

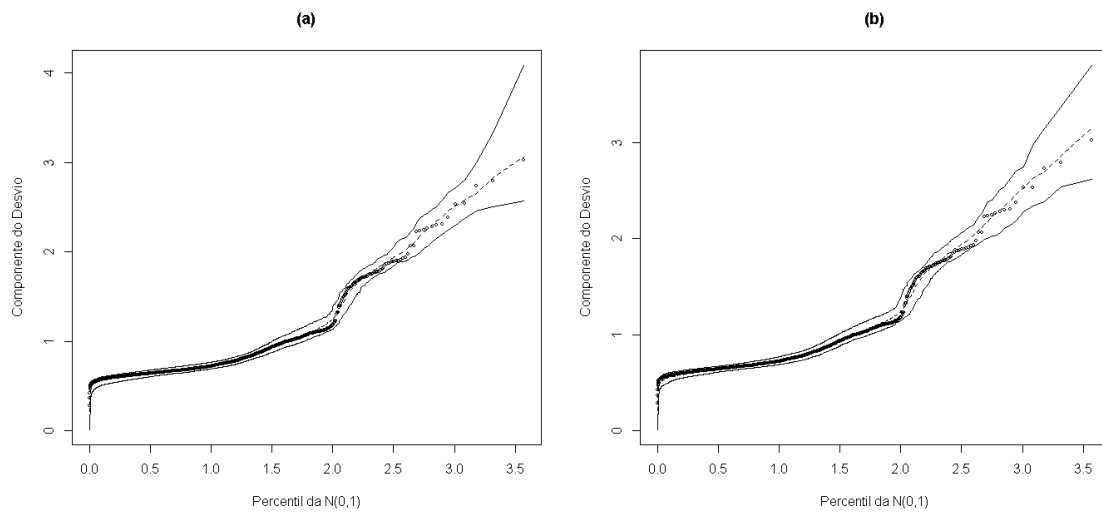


Figura A6: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Araucária para faixa de 10 a 19 anos.

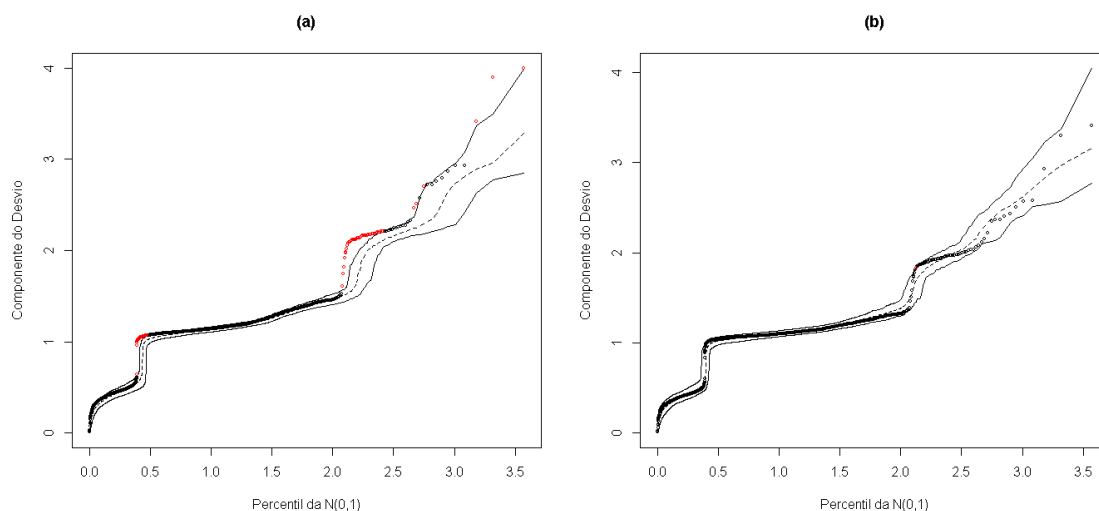


Figura A7: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para interações respiratórias em Araucária para faixa de 20 a 64 anos.

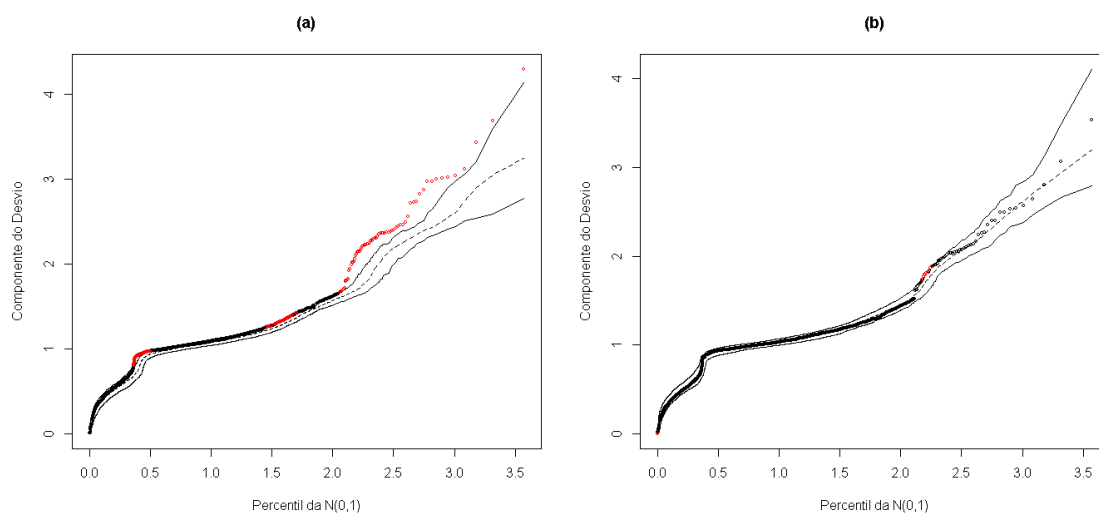


Figura A8: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para interações respiratórias em Araucária para maiores de 64 anos.

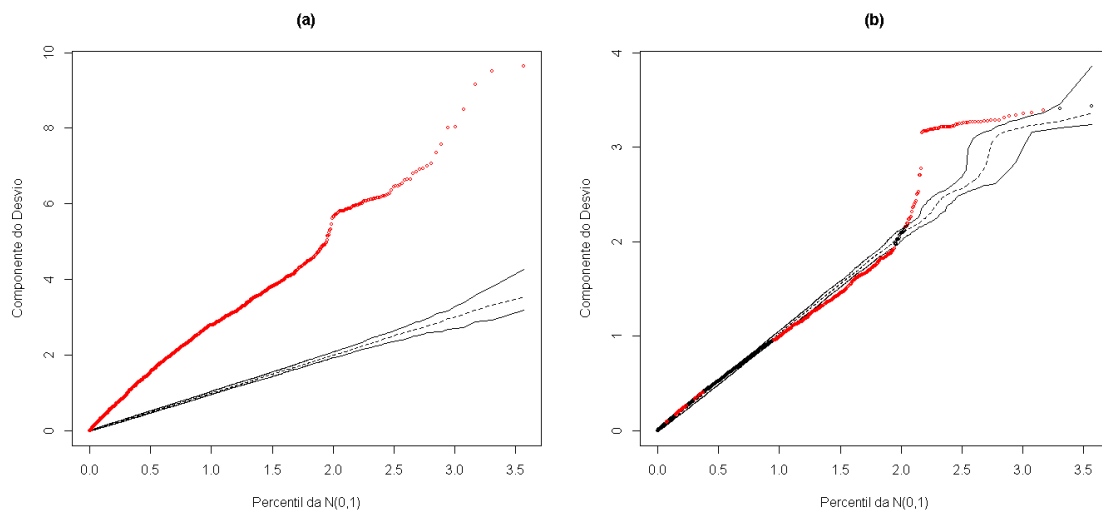


Figura A9: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para interações circulatorias em Curitiba para faixa de 20 a 64 anos.

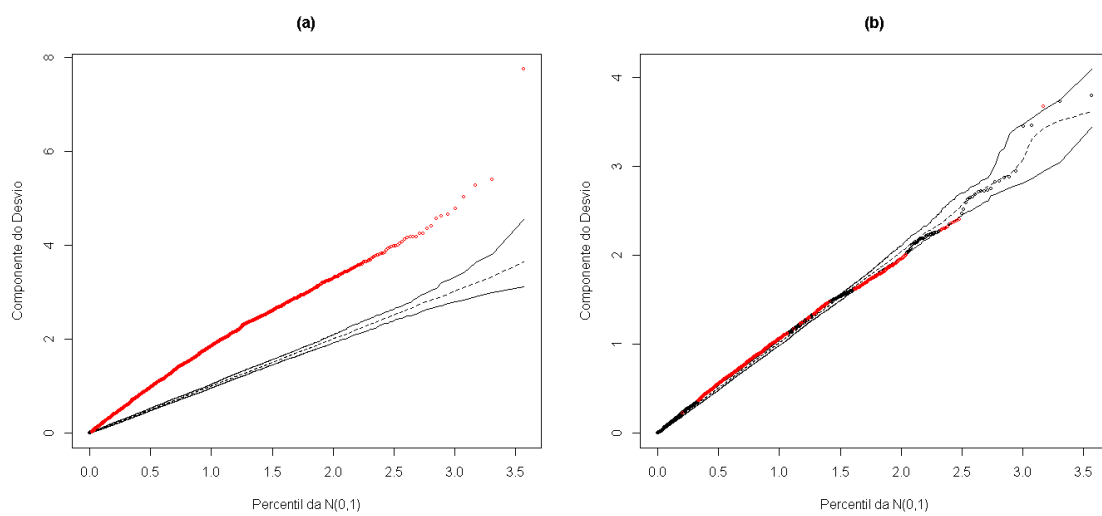


Figura A10: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para interações circulatorias em Curitiba para maiores de 64 anos.

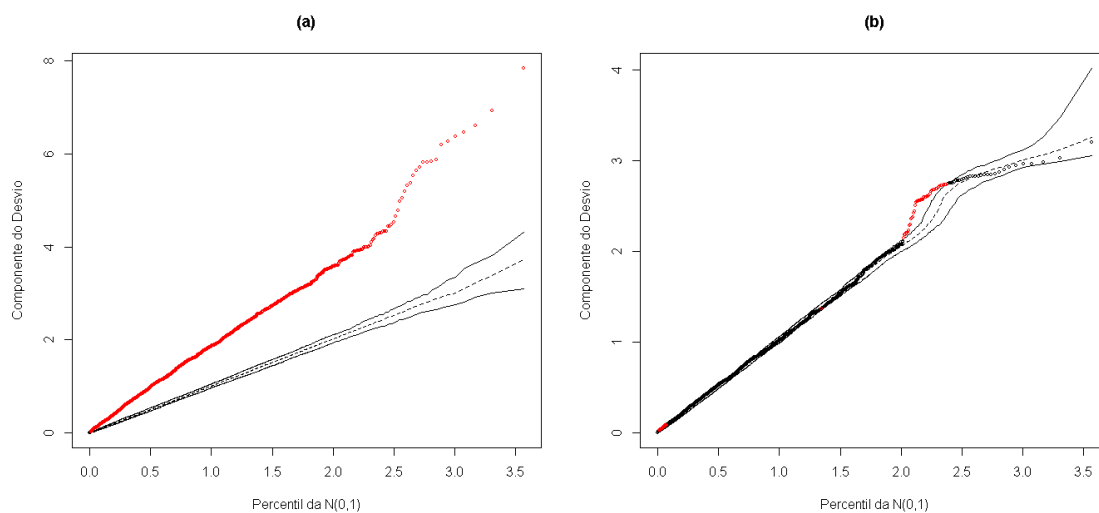


Figura A11: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Curitiba para faixa de 0 a 9 anos.

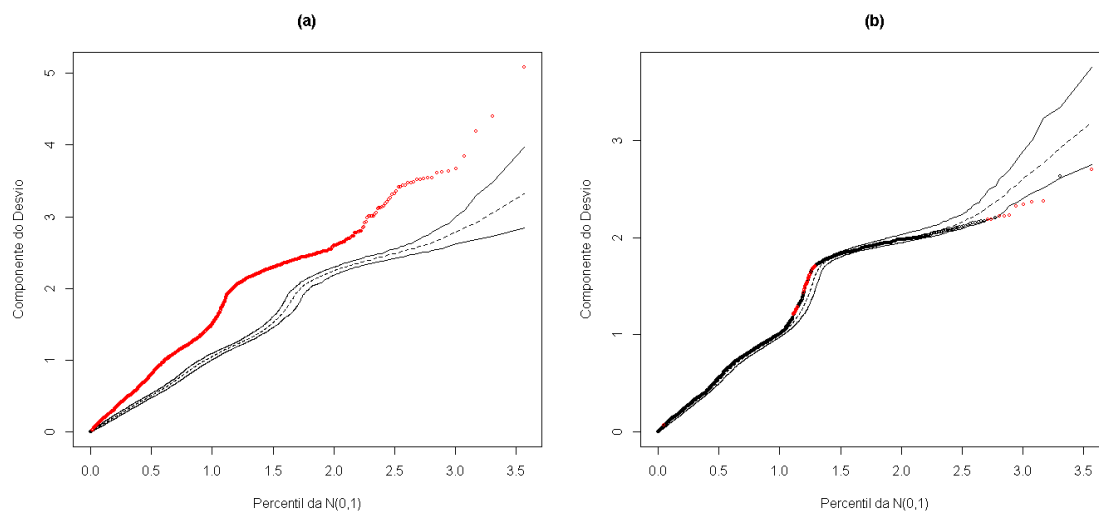


Figura A12: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Curitiba para faixa de 10 a 19 anos.

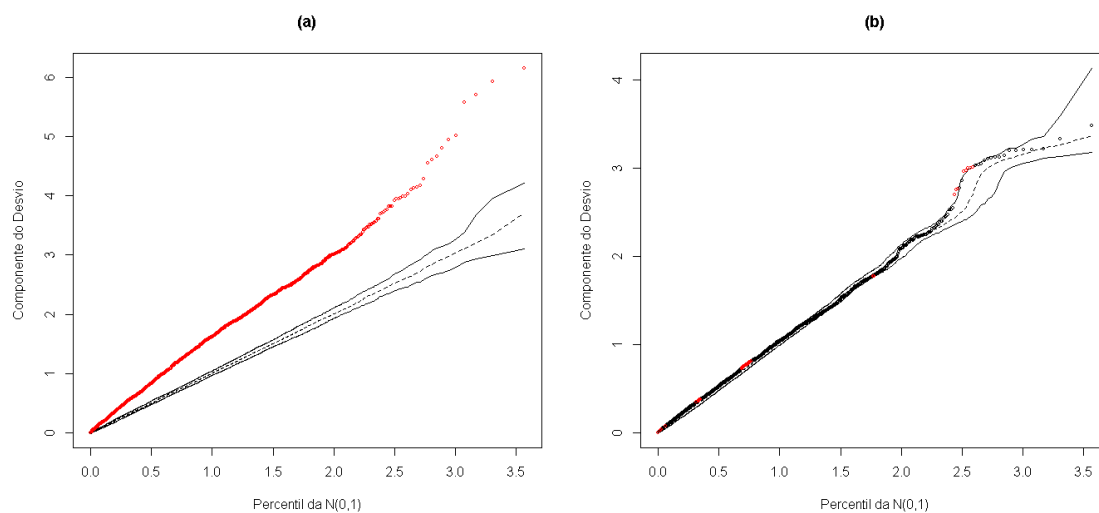


Figura A13: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Curitiba para faixa de 20 a 64 anos.

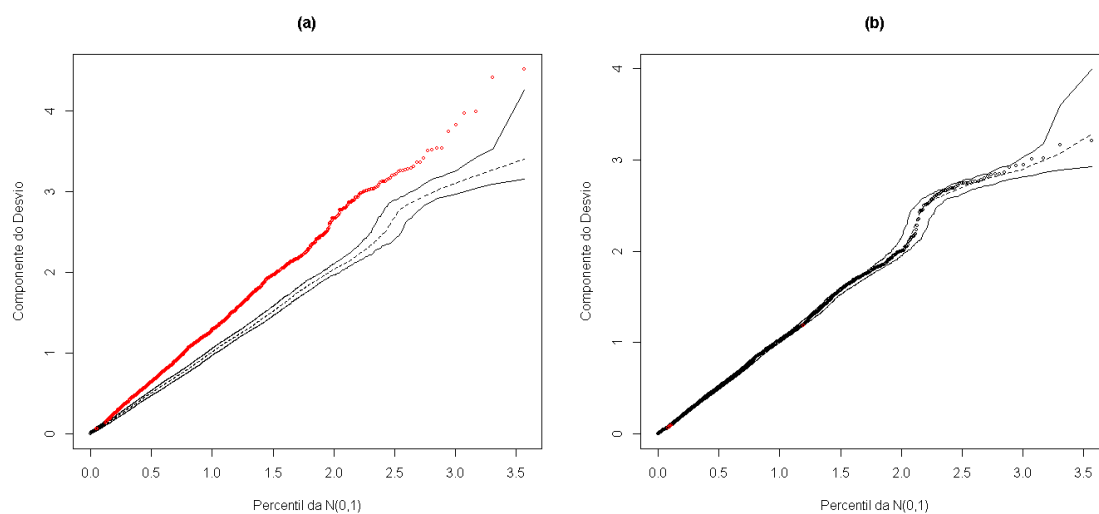


Figura A14: Gráfico de desvio normal com distribuição de Poisson (a) e Binomial Negativa (b), para internações respiratórias em Curitiba para maiores de 64 anos.