

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

RAFAELA SQUIZZATO

**AVALIAÇÃO DE CURTO PRAZO NOS SINTOMAS RESPIRATÓRIOS EM
INDIVÍDUOS EXPOSTOS AO MATERIAL PARTICULADO EM AR AMBIENTE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LONDRINA

2017

RAFAELA SQUIZZATO

**AVALIAÇÃO DE CURTO PRAZO NOS SINTOMAS RESPIRATÓRIOS EM
INDIVÍDUOS EXPOSTOS AO MATERIAL PARTICULADO EM AR AMBIENTE**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus 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. Marcos Ribeiro

LONDRINA

2017

TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



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

S774a Squizzato, Rafaela

Avaliação de curto prazo nos sintomas respiratórios em indivíduos expostos ao material particulado em ar ambiente / Rafaela Squizzato - Londrina: [s.n.], 2017.

98 f. ; il. ; 30 cm

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

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Ribeiro

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2017.

Bibliografia: f. 80-89

1.Ar - Poluição. 2. Saúde Ambiental. 3. Infecções Respiratórias. I. Martins, Leila Dropinchinski, orient. II. Ribeiro, Marcos, co-orient. 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

AVALIAÇÃO DE CURTO PRAZO NOS SINTOMAS RESPIRATÓRIOS EM INDIVÍDUOS EXPOSTOS AO MATERIAL PARTICULADO EM AR AMBIENTE

por

Rafaela Squizzato

Dissertação de mestrado apresentada no dia 20/02/2017 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. (Aprovado ou Reprovado).

Prof. Dra. Leila Droprinchinski Martins – Orientadora (UTFPR)

Prof. Dra. Maria Cristina Solci (UEL)

Prof. Dr. Alfésio Luís Ferreira Braga (UNISANTOS)

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

O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me guiado ao melhor caminho.

À minha família pelo apoio e incentivo na realização do mestrado.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Leila Droprinchinski Martins pela oportunidade em desenvolver esta pesquisa, pela confiança depositada em mim, por sua dedicação e auxílio. Ao Prof. Dr. Jorge Alberto Martins por ter me proporcionado oportunidades que me guiaram até essa linha de pesquisa.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Marcos Ribeiro, do Departamento de Clínica Médica da Universidade Estadual de Londrina, pela paciência, disposição, dedicação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Silvano Cesar da Costa, do Departamento de Estatística da Universidade Estadual de Londrina, pelo auxílio na realização das análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Alfésio Luís Ferreira Braga, do Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva da Universidade Católica de Santos, pela disposição e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

À Pitágoras pela parceria, principalmente ao Prof. Dr. Marcos Rambalducci.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de realizar o mestrado. Além de todo o apoio por parte dos funcionários, alunos e professores pela colaboração na pesquisa.

Aos companheiros do EAE, em especial à Bia e ao Anderson pelo auxílio dado. Ao Lourenço pela disponibilidade e pelo desenvolvimento do aplicativo utilizado neste trabalho.

Ao LAPAR pelo companheirismo e auxílio durante a realização deste trabalho. Em especial à Iara por toda a ajuda disponibilizada na realização dos questionários. À Camila pela paciência, amizade e parceria no decorrer do mestrado. E ao André por todo o auxílio prestado.

Ao Laboratório de Análises Cromatográfica e Ambiental, da Universidade Estadual de Londrina, principalmente à Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Solci pelo espaço e equipamentos cedidos e ao Ismael por todo o auxílio e ensinamento passado.

Ao INMET, IAPAR e UTFPR pela disponibilidade dos dados meteorológicos.

À CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

À todas as pessoas que colaboraram de certa forma para a realização deste trabalho, em especial a Aninha pela amizade e parceria de anos.

RESUMO

SQUIZZATO, Rafaela. Avaliação de curto prazo nos sintomas respiratórios em indivíduos expostos ao material particulado em ar ambiente. 2017. 98f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). Campus Apucarana/Londrina. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

Estudos que relacionam poluição do ar e saúde em regiões urbanas de médio porte são escassos, principalmente em adultos. Além disso, não há um consenso na literatura em relação a um nível seguro à saúde de concentração de partículas no ar e por isso, pesquisas nesses locais podem contribuir para uma melhor compreensão das associações entre saúde e poluição. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência da exposição à curto prazo, causada pelas concentrações em massa e número de material particulado e *black carbon* nos sintomas respiratórios de funcionários e estudantes de duas Instituições de Ensino Superior (P1 e P2), localizadas em Londrina em regiões com características urbanas e de fontes de emissão distintas. Para a obtenção dos dados, voluntários acima de 18 anos foram avaliados através do questionário sobre sintomas respiratórios do *British Medical Research Council* (BMRC), adaptado e validado. Além disso, foram realizadas medidas internas e externas das concentrações de material particulado em ambas as instituições. Os resultados demonstram que as concentrações médias externas para MP_{2,5} foram de 7,1 µg m⁻³ para P1 e de 4,8 µg m⁻³ para P2 no verão, e de 10,6 µg m⁻³ para P1 e 11 µg m⁻³ para P2 no inverno. Os locais, embora com características diferentes no entorno apresentaram concentrações semelhantes de partículas, e entre as estações foram não semelhantes e superiores no inverno. As concentrações médias internas de MP₁, MP_{2,5}, MP₄, MP₁₀ e PTS para o verão foram de 5, 8, 13, 25 e 30 µg m⁻³ no P1 e de 5, 8, 11, 21 e 26 µg m⁻³ no P2, e para o inverno foram de 8, 11, 17, 36 e 43 µg m⁻³ no P1 e 9, 13, 18, 33 e 40 µg m⁻³ no P2, respectivamente. O número de partículas para nP_{0,3}, nP_{0,5}, nP₁, nP_{2,5} foram de 23599, 2050, 373, 117 partículas L⁻¹ e 24885, 1980, 294, 74 partículas L⁻¹ no verão e 52378, 4189, 641, 182 partículas L⁻¹ e 48297, 3514, 482, 116 partículas L⁻¹ no inverno, respectivamente nos pontos P1 e P2. Não ocorreram variações significativas nas concentrações de *black carbon* entre as instituições e entre as estações do ano. Foram encontradas associações positivas significativas (p = 0,05) entre as variáveis explicativas, período (RR, 2,044; IC, 1,129-3,702), MP₁₀ (RR, 1,031; IC, 1,016-1,110), MP_{2,5} (RR, 1,164; 1,109-1,656) e nP_{2,5} (RR, 1,006; IC, 1,004-1,020) em relação a variável resposta (tosse e catarro). Assim, a partir dos resultados obtidos foi possível constatar que das variáveis explicativas, o período e o MP_{2,5} foram os que apresentaram maior fator de risco para sintomas respiratórios em indivíduos jovens/adultos saudáveis. Além disso, aumento em média de 13 % na prevalência dos sintomas para os dois sítios amostrais no inverno, mesmo em concentrações abaixo do limite estabelecido pela OMS.

Palavras-chave: poluição atmosférica, sintomas respiratórios, questionário, material particulado, instituições de ensino, estudo longitudinal

ABSTRACT

SQUIZZATO, Rafaela. Short-term assessment of respiratory symptoms in individuals exposed to particulate matter in ambient air. 2017. 98f. Dissertation (Master degree). Environmental Engineering Master Program (PPGEA). Campus Apucarana/Londrina. Federal University of Technology – Paraná. Londrina, 2017.

Studies that relate air pollution and health in medium-sized urban areas are scarce, especially in adults. In addition, there is no consensus in the literature regarding a safe level of airborne particulate matter, and therefore researches at these sites may contribute to a better understanding of the associations between health and pollution. The present study aims to evaluate the influence of short-term exposure caused by concentrations of particulate matter and black carbon in the respiratory symptoms of employees and students of two Higher Education Institutions (P1 and P2) located in Londrina with urban characteristics and emission sources different. Volunteers above 18 years of age were evaluated using the British Medical Research Council (BMRC) questionnaire on respiratory symptoms, adapted and validated. Indoor and outdoor measurements of concentrations of particulate matter were carried out at both institutions. The results show that the outdoor mean concentrations for $MP_{2.5}$ were $7.1 \mu\text{g m}^{-3}$ for P1 and $4.8 \mu\text{g m}^{-3}$ for P2 in the summer, and $10.6 \mu\text{g m}^{-3}$ for P1 and 11Mg m^{-3} for P2 in winter. The sites, although with different characteristics in the surroundings presented similar concentrations of particles, and between the seasons were not similar and superior in the winter. The indoor mean concentrations of PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_4 , PM_{10} and PTS for the summer were 5, 8, 13, 25 and $30 \mu\text{g m}^{-3}$ in P1 and 5, 8, 11, 21 and $26 \mu\text{g m}^{-3}$ in P2, and for winter were 8, 11, 17, 36 and $43 \mu\text{g m}^{-3}$ in P1 and 9, 13, 18, 33 and $40 \mu\text{g m}^{-3}$ in P2, respectively. The number of particles for $nP_{0.3}$, $nP_{0.5}$, nP_1 , $nP_{2.5}$ were 23599, 2050, 373, 117 particles L^{-1} and 24885, 1980, 294, 74 particles L^{-1} in summer and 52378, 641, 182 particles L^{-1} and 48297, 3514, 482, 116 particles L^{-1} in winter respectively in P1 and P2. There were no significant variations in black carbon concentrations between institutions and between seasons. Significant positive associations ($p = 0.05$) between the explanatory variables, period (RR 2.044, CI, 1.129-3.702), PM_{10} (RR, 1.031, CI, 1.016-1.110), $PM_{2.5}$ (RR, 1.164, CI, 1.109-1.656) and $nP_{2.5}$ (RR, 1.006, CI, 1.004-1.020) for the variable response (cough and phlegm) for the group of adult volunteers considered healthy. Thus, it was possible to verify that of the explanatory variables, the period and $PM_{2.5}$ presented the highest risk factor for respiratory symptoms in healthy young/adults. In addition, an increase of 13% during the winter campaign on the prevalence of symptoms for the two sample sites even, in concentrations below the WHO limit.

Keywords: air pollution, respiratory symptoms, questionnaire, particulate matter, educational institutions, longitudinal study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre número e massa de partículas.	17
Figura 2: Deposição de material particulado no sistema respiratório.	20
Figura 3: Localização da área de estudo.	24
Figura 4: Média mensal de temperatura e precipitação entre 1970 e 2013.	25
Figura 5: Vista aérea do P1.	27
Figura 6: Queima registrada no período de amostragem próxima ao P1.	27
Figura 7: Vista aérea do P2.	28
Figura 8: Equipamentos utilizados nos ambientes internos.	33
Figura 9: Equipamento utilizado no ambiente externo.	34
Figura 10: Ciclone 2000-30 E H utilizado na amostragem externa.	34
Figura 11: Refletômetro utilizado durante a amostragem.	36
Figura 12: Média diária da temperatura e umidade relativa para as campanhas de verão e inverno para o P1.	44
Figura 13: Média diária de temperatura e umidade relativa para as campanhas de verão e inverno para o P2.	45
Figura 14: Concentrações em massa de $MP_{2,5}$ e BCe, do ambiente externo obtidas durante as campanhas de verão e inverno, para P1 e P2.	46
Figura 15: Concentrações de partículas dos cinco intervalos de massa, do ambiente interno obtidas durante as campanhas de verão e inverno, para P1.	47
Figura 16: Concentrações de partículas dos cinco intervalos de massa, do ambiente interno obtidas durante as campanhas de verão e inverno, para P2.	48
Figura 17: Concentração média diária em ambiente externo de $MP_{2,5}$ para P1 e P2 durante a campanha de verão.	53
Figura 18: Rosa dos ventos para a concentração de $MP_{2,5}$ em P1 durante a campanha de verão.	54
Figura 19: Rosa dos ventos para a concentração de $MP_{2,5}$ em P2 durante a campanha de verão.	54
Figura 20: Concentração de BCe para P1 e P2 durante a campanha de verão.	55
Figura 21: Concentração diária de $MP_{2,5}$ e BCe para P1 (superior) e P2 (inferior) durante a campanha de verão.	56

Figura 22: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P1.....	57
Figura 23: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P1.....	58
Figura 24: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P2.....	59
Figura 25: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P1.....	59
Figura 26: Concentração média diária em ambiente interno de MP _{2,5} para P1 e P2 durante a campanha de verão.....	60
Figura 27: Concentração média diária em ambiente interno de MP ₁₀ para P1 e P2 durante a campanha de verão.....	61
Figura 28: Concentração interna e externa do MP _{2,5} durante a campanha de verão para o P1.....	62
Figura 29: Concentração interna e externa do MP _{2,5} durante a campanha de verão para o P2.....	62
Figura 30: Concentração média diária em ambiente externo de MP _{2,5} para P1 e P2 durante a campanha de inverno.....	63
Figura 31: Rosa dos ventos para a concentração de MP _{2,5} em P1 durante a campanha de inverno.....	64
Figura 32: Rosa dos ventos para a concentração de MP _{2,5} em P2 durante a campanha de inverno.....	65
Figura 33: Concentração de BCe para P1 e P2 durante a campanha de inverno.....	66
Figura 34: Concentração diária de MP _{2,5} e BCe para P1 (superior) e P2 (inferior) durante a campanha de inverno.....	67
Figura 35: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P1.....	68
Figura 36: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P1.....	68
Figura 37: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P2.....	69
Figura 38: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P2.....	70

Figura 39: Concentração média diária em ambiente interno de $MP_{2,5}$ para P1 e P2 durante a campanha de inverno.	70
Figura 40: Concentração média diária em ambiente interno de MP_{10} para P1 e P2 durante a campanha de inverno.	71
Figura 41: Concentração interna e externa do $MP_{2,5}$ durante a campanha de inverno para o P1.	72
Figura 42: Concentração interna e externa do $MP_{2,5}$ durante a campanha de inverno para o P2.	72
Figura 43: Análise de correlação de massa para P1 e P2 durante a campanha de verão.	75
Figura 44: Análise de correlação de massa para P1 e P2 durante a campanha de inverno.	75
Figura 45: Análise de correlação do número de partículas para P1 e P2 durante a campanha de verão.	76
Figura 46: Análise de correlação do número de partículas para P1 e P2 durante a campanha de inverno.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar para $M_{2,5}$ e MP_{10} adotados por diferentes órgãos reguladores.....	16
Tabela 2 - Análise da normalidade climatológica durante as campanhas de verão e inverno, para P1 e P2, a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,05$).....	43
Tabela 3 - Análise descritiva das variáveis meteorológicas durante as campanhas de verão e inverno do P1.	43
Tabela 4 - Análise descritiva das variáveis meteorológicas durante as campanhas de verão e inverno do P2.	44
Tabela 5 - Análise estatística descritiva do número de partículas (partículas L^{-1}) para as campanhas de verão e inverno para os sítios P1 e P2.	49
Tabela 6 - Distribuição em número (n) e percentual (%) de entrevistas por sexo e faixa etária nos dois sítios amostrais (P1 e P2) durante as campanhas (verão e inverno)...	51
Tabela 7 - Número (n) e percentual (%) dos sintomas apresentados durante as campanhas, nos dois sítios amostrais (P1 e P2).....	51
Tabela 8 - Resultado do fatorial duplo e triplo em DIC.....	73
Tabela 9 – Risco relativo e intervalo de confiança utilizando o modelo univariável.	78
Tabela 10 – Análise do risco relativo para o modelo multivariável.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS

BC - Black Carbon

BCe - Black Carbon Equivalente

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

ECRHS - European Community Respiratory Health Survey

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISAAC - International Study of Asthma and Allergies in Childhood

MP - Material Particulado

MP₁ - Material Particulado 1 µm

MP₁₀ - Material Particulado 10 µm

MP_{2,5} - Material Particulado 2,5 µm

MP₄ - Material Particulado 4 µm

MRC - Medical Research Council

nP_{0,3} - Número de Partículas de até 0,3 µm

nP_{0,5} - Número de Partículas de até 0,5 µm

nP₁ - Número de Partículas de até 1 µm

nP_{2,5} - Número de Partículas de até 2,5 µm

OMS - Organização Mundial da Saúde

OR – Odds Ratio (Razão de Chance)

PIB - Produto Interno Bruto

PTS - Partículas Totais em Suspensão

RR - Risco Relativo

UR - Umidade Relativa

WHO - World Health Organization

DIC - Delineamento Inteiramente Casualizado

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	15
1.2 MATERIAL PARTICULADO	16
1.3 MATERIAL PARTICULADO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	18
1.4 MATERIAL PARTICULADO E SAÚDE	19
1.5 HIPÓTESE	22
2 OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 DESENHO DO ESTUDO	23
3.2 ÁREA DO ESTUDO	24
3.2.1 Caracterização dos sítios de amostragem.....	26
3.3 PERÍODO DE AMOSTRAGEM	29
3.4 AMOSTRAGEM POPULACIONAL	29
3.4.1 Tamanho da Amostra	29
3.4.2 Questionário	30
3.4.3 Coleta de dados	31
3.5 AMOSTRAGEM DO MATERIAL PARTICULADO.....	32
3.5.1 Ambiente Interno.....	32
3.5.2 Ambiente Externo.....	33
3.6 ANÁLISE GRAVIMÉTRICA.....	35
3.7 ANÁLISE DE <i>BLACK CARBON</i>	36
3.8 DADOS METEOROLÓGICOS	37
3.8.1 Caracterização climatológica do período de estudo.....	38
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
3.9.1 Estatística Descritiva	38
3.9.2 Análise fatorial por Delineamento Inteiramente Casualizado.....	39
3.9.3 Análise de Correlação	40

3.9.4 Análise de Regressão.....	40
3.9.5 Risco Relativo	41
3.10 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	42
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO MATERIAL PARTICULADO	45
4.3 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS.....	49
4.4 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS - VERÃO	52
4.4.1 Ambiente Externo.....	52
4.4.2 Ambiente Interno.....	57
4.4.3 Interno x Externo.....	61
4.5 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS - INVERNO	62
4.5.1 Ambiente Externo.....	63
4.5.2 Ambiente Interno.....	67
4.5.3 Interno x Externo.....	71
4.6 ANÁLISE FATORIAL EM DIC	72
4.7 CORRELAÇÃO DE PEARSON	74
4.8 ANÁLISE DE REGRESSÃO - EQUAÇÕES DE ESTIMAÇÃO GENERALIZADA	77
5 CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICES	91

1 INTRODUÇÃO

Problemas ambientais sempre estiveram atrelados ao homem, no entanto, começaram a se intensificar com o aumento populacional e a industrialização, levando ao crescimento desenfreado das cidades, e conseqüentemente à produção de poluição ambiental. A poluição advinda das atividades humanas acaba por impactar os principais compartimentos do meio ambiente como o ar, a água e o solo.

Segundo Braga et al. (2001a) o ar, considerado como elemento essencial a vida, é um dos compartimentos que mais tem sofrido com a poluição, não recebendo atenção necessária pelo fato de ser abundante, inodoro e invisível. Esse quadro começou a mudar após o episódio em Londres, Inglaterra, em 1952, onde níveis elevados de poluição atmosférica refletiram diretamente no aumento da mortalidade diária, o que levou ao estabelecimento de políticas oficiais de controle a fim de reduzir as emissões de partículas nos grandes centros urbanos (SCHWARTZ, 1994; DAUMAS; MENDONÇA; LÈON, 2004).

O maior controle das emissões associado a motivos econômicos levou a migração de várias indústrias para países economicamente periféricos. Assim, novos episódios de aumento das concentrações de poluentes e do aumento da mortalidade começaram a ocorrer em países subdesenvolvidos (LOOMIS et al., 1999; BRAGA, et al., 2001a; GURJAR et al., 2010; KRZYZANOWSKI et al., 2014).

Estudos sobre poluição e seu impacto sobre a saúde têm ocorrido majoritariamente no Hemisfério Norte em detrimento do Hemisfério Sul, e, além disso, geralmente estas pesquisas têm sido realizadas em grandes centros urbanos. No Brasil, estudos referentes à poluição têm sido realizados nos principais centros urbanos do país como São Paulo e Rio de Janeiro, e têm relacionado o aumento nos índices de mortalidade/morbidade e doenças respiratórias com o aumento das concentrações de poluentes.

Estudos de poluição do ar e saúde em regiões urbanas de médio porte são escassos. Entende-se que estudos em cidades de médio porte são importantes tanto quanto os realizados em grandes metrópoles, pois são cidades que estão em pleno desenvolvimento e onde ainda não foram realizadas pesquisas de acompanhamento desses poluentes. Além disso, não há um consenso na literatura em relação a um nível seguro à saúde de

concentração de partículas no ar e estudos nesses locais poderiam contribuir para uma melhor compreensão das associações entre saúde e poluição do ar.

1.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica, tanto em ambientes internos como externos, apresenta um considerável risco ambiental para a saúde e afeta principalmente os países de baixa e média renda. Estima-se que anualmente a poluição do ar seja responsável por 3 milhões de mortes, representando 5,4% do total de mortes em todo o mundo (WHO, 2016).

A contaminação do ar ocorre a partir do aumento nas concentrações de substâncias poluentes que alteram as características naturais de um determinado ambiente por agentes químicos, físicos ou biológicos, interferindo assim na saúde e bem-estar da população entre outros efeitos nocivos (EPA, 2006).

Segundo Kampa e Castanas (2008) a maior contribuição para a poluição atmosférica é proveniente de atividades antrópicas. A carga diária de poluentes emitida a partir da combustão de combustíveis fósseis e atividades industriais levam a mudanças progressivas na composição química da atmosfera. Os poluentes lançados são diversos e podem ser divididos em quatro categorias: (1) a de gases poluentes, (2) poluentes orgânicos persistentes, (3) metais traços e (4) material particulado (KAMPA; CASTANAS, 2008).

A poluição por fontes naturais também pode ocorrer a partir de erupções vulcânicas, ressuspensão de terra e areia, pólen entre outros (AHRENS, 2007). Classicamente as fontes de poluição atmosférica são divididas em fixas e móveis, e os poluentes, classificados em primários e secundários quanto à sua origem. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente para a atmosfera e os secundários são provenientes de reações químicas complexas que ocorrem na atmosfera entre os poluentes primários e outros componentes da atmosfera (AHRENS, 2007; MORAES, 2010; MISSAGIA, 2012).

Estudos têm mostrado associação entre esses poluentes e os efeitos sobre a saúde das pessoas e entre os principais poluentes de interesse estão o ozônio (O_3), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e o material particulado (MP) (SEGALA et al., 1998; MANN et al., 2010; CHEN et al., 2015).

1.2 MATERIAL PARTICULADO

O MP pode ser definido como um grupo de partículas sólidas e gotículas líquidas pequenas o suficiente para permanecer em suspensão no ar (SEINFELD; PANDIS, 1997; AHRENS, 2007). É considerado um dos principais poluentes e o mais perceptível pois reduz a visibilidade à medida que as concentrações aumentam. Sua formação se dá a partir da mistura de vários compostos incluindo sulfatos, nitratos, íons inorgânicos (sódio, potássio, cálcio, etc) e orgânicos, carbono elementar entre outros elementos (WHO, 2013; AHREN, 2007).

Devido a diversidade das partículas, estas são classificadas conforme seu diâmetro aerodinâmico, pois podem variar de diversas maneiras quanto ao número, ao tamanho, a origem, a solubilidade, área superficial, forma, entre outras características (KÜNZLI; PEREZ; RAPP, 2010). As partículas são divididas em até cinco grupos:

- PTS: partículas totais em suspensão, com diâmetro de até 30 μm ;
- MP_{10} : com diâmetro de até 10 μm ;
- Partículas grossas ($\text{MP}_{2,5-10}$): com diâmetro entre 2,5 – 10 μm ;
- Partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$): com diâmetro de até 2,5 μm ;
- Partículas Ultrafinas ($\text{MP}_{0,1}$): com diâmetro de até 0,1 μm (1-100 nm).

A Tabela 1 mostra os padrões de qualidade do ar para $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} estabelecidos por alguns órgãos reguladores visando minimizar danos à saúde humana. No Brasil, não há regulamentação para a concentração de $\text{MP}_{2,5}$ sendo que apenas em São Paulo existe um decreto, baseado na Organização Mundial da Saúde (OMS, da sigla inglesa WHO), onde se estabelece um limite para este poluente. Os limites de referência da WHO (2005) para esses poluentes são de 50 (MP_{10}) e 25 ($\text{MP}_{2,5}$) $\mu\text{g m}^{-3}$ (média de 24 horas).

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar para $\text{M}_{2,5}$ e MP_{10} adotados por diferentes órgãos reguladores.

Órgãos Reguladores	$\text{MP}_{2,5}$ (24h)	MP_{10} (24 h)
OMS	25 $\mu\text{g m}^{-3}$	50 $\mu\text{g m}^{-3}$
EPA	35 $\mu\text{g m}^{-3}$	150 $\mu\text{g m}^{-3}$
Decreto do Estado São Paulo (n° 59.113/2013)	25 $\mu\text{g m}^{-3}$	50 $\mu\text{g m}^{-3}$
CONAMA (n° 003/1990)	-	150 $\mu\text{g m}^{-3}$

Para as concentrações de partículas ultrafinas, não foram estabelecidas regulamentação em nenhum dos órgãos reguladores acima citados. O seu tamanho inferior a $0,1 \mu\text{m}$, leva ao baixo acúmulo de massa, pois são consideradas partículas muito leves, no entanto estão presentes na atmosfera em grandes concentrações numéricas e em abundância, principalmente nos centros urbanos (SALMA et al., 2015).

Na Figura 1 está representada a relação entre número e massa de partículas de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico. As concentrações em massa diminuem exponencialmente enquanto as concentrações em número aumentam exponencialmente a medida que o diâmetro das partículas diminui. Em uma amostra de $\text{MP}_{2,5}$, por exemplo, a maioria numérica seria de partículas ultrafinas, porém a maior parte da massa é composta por partículas finas (ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012).

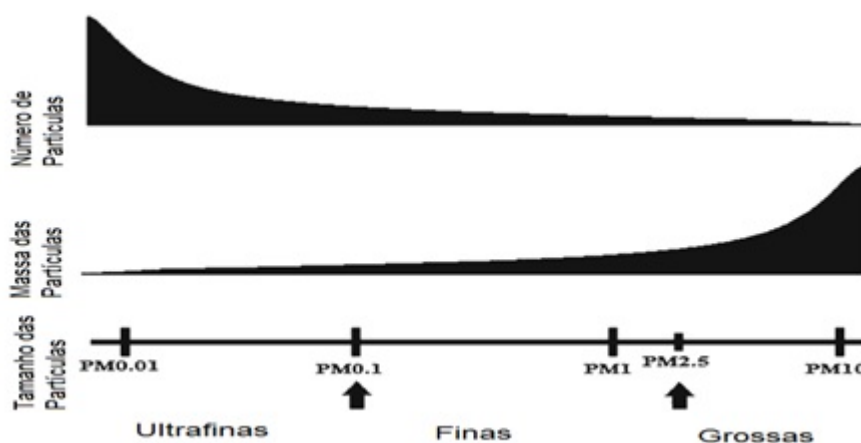


Figura 1: Relação entre número e massa de partículas.

Fonte: Adaptado de ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012.

As concentrações numéricas bem como o tamanho das partículas podem representar um elevado risco à saúde, sendo que aquelas de menor tamanho atingem o sistema respiratório humano de forma mais eficaz, devido a sua maior área superficial, podendo chegar a corrente sanguínea (MASIOL et al., 2017)

As concentrações em massa do material particulado podem não representar o real efeito na saúde e além disso, o número de partículas ultrafinas tem sido uma variável de exposição mais relevante. Por isso estudos referentes às concentrações ambientais em número de partículas vêm ganhando destaque nos últimos anos (PUUSTINEN et al., 2007; HOEK et al., 2008; SALMA et al., 2015; MUELLER et al., 2016; MASIOL et al., 2017).

Dentre a ampla gama de compostos químicos presente no material particulado atmosférico, o *black carbon* (BC) representa um dos compostos de maior risco a saúde quando comparados àqueles provenientes por outras fontes (JANSSEN et al., 2011). É um

dos compostos emitidos diretamente para a atmosfera sob a forma de partículas finas ($MP_{2,5}$), e sua formação ocorre a partir da queima incompleta da biomassa e de combustíveis fósseis (PENNER; EDDLEMAN; NOVAKOV, 1993; COOKE; WILSON, 1996; KOELMANS et al., 2006).

O BC absorve radiação de onda curta, influenciando o balanço de radiação, podendo aquecer o ar, alterando assim, a estabilidade da atmosfera. Suscetível a transporte de longa distância na ausência de precipitação, podem permanecer na atmosfera por alguns dias (10 dias, aproximadamente) (PENNER; EDDLEMAN; NOVAKOV, 1993; TIWARI, 2013).

1.3 MATERIAL PARTICULADO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Variações espaciais e temporais nas concentrações de poluentes na atmosfera podem ser influenciadas por fatores meteorológicos como temperatura, umidade relativa, precipitação e velocidade do vento, sendo que o efeito de cada variável meteorológica irá depender principalmente do tipo de poluente em estudo (DEGAETANO; DOHERTY, 2003; BEAL, 2015).

A poluição do ar pelo material particulado depende do tamanho da partícula e da ocorrência de precipitação no local. Partículas maiores que $10\ \mu\text{m}$ tendem a se depositar após um dia ou assim que são emitidas, chamada de deposição seca. Partículas mais finas, menores que $1\ \mu\text{m}$, podem permanecer suspensas por várias semanas em condições atmosféricas estáveis. Na ocorrência de precipitação é esperado que as partículas menores sejam removidas da atmosfera, o que chamamos de deposição úmida (AL JALLAD; AL KATHEERI; AL OMAR, 2013).

Condições de ausência de vento leva ao acúmulo dos poluentes, por outro lado, condições de alta velocidade de vento próximo a superfície pode ocasionar na ressuspensão de partículas do solo, levando ao aumento das concentrações. Ventos fortes podem gerar o transporte de partículas a longas distâncias podendo aumentar ou diminuir as concentrações de determinado local. Em um estudo realizado em Atenas, na Grécia, a estação do ano, o dia da semana e a temperatura foram fatores determinantes nas concentrações de material

particulado. Foram observadas concentrações elevadas para ventos inferiores a 2 m/s, e concentrações baixas para ventos superiores a 2 m/s (CHALOULAKOU et al., 2003).

A atmosfera em condições de estabilidade ocorre quando a taxa de variação vertical de temperatura ambiente é pequena, ou a partir de inversões térmicas que impeçam a dispersão de poluentes. Este fenômeno ocorre principalmente no inverno onde o ar quente recobre o ar frio, atuando como uma espécie de tampa, impedindo o movimento vertical do ar e levando a sua má qualidade (SANTOS et al., 2013; BEAL, 2015).

Sánchez-Ccoyllo e Andrade (2002) encontraram que baixas concentrações de poluentes estavam associadas a dias com umidade relativa elevada e presença de frente fria. Enquanto as altas concentrações estavam associadas a inversão de temperatura.

Em um estudo realizado na cidade de Nova York, a variação nas concentrações de MP_{2,5} foram impulsionadas por processos regionais, ou seja, influenciadas pela direção e velocidade do vento. Durante o inverno as fontes locais de MP_{2,5} apresentaram um papel mais dominante (DEGAETANO; DOHERTY, 2003).

1.4 MATERIAL PARTICULADO E SAÚDE

Os efeitos da poluição do ar na saúde são diversos e seu grau de toxicidade depende de alguns fatores como o tamanho e a composição química. As partículas menores ou iguais a 2,5 µm são aquelas consideradas respiráveis e por isso merecem maior destaque, pois quanto menor o diâmetro da partícula maior é a possibilidade de atingirem regiões mais profundas no trato respiratório humano (CURTIS et al., 2006; SEINFELD; PANDIS, 1997). A Figura 2 esquematiza a deposição das partículas no sistema respiratório em função do seu tamanho.

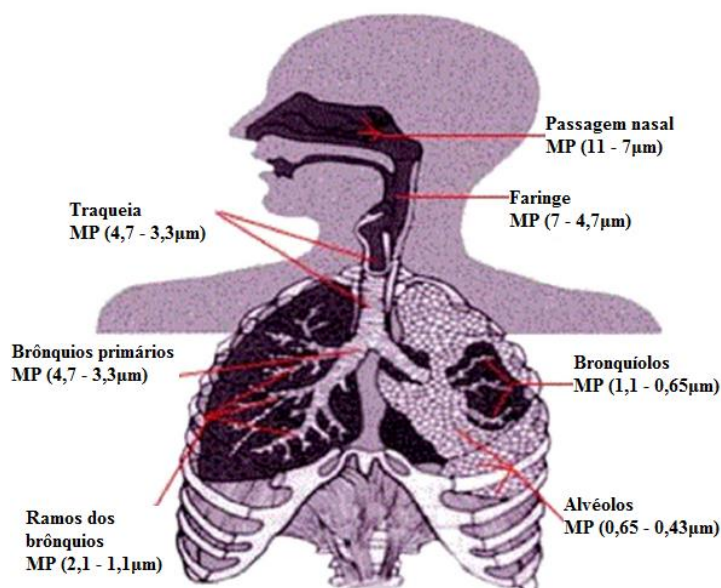


Figura 2: Deposição de material particulado no sistema respiratório.
Fonte: Adaptado de KIM; KABIR; KABIR, 2015.

A exposição à poluição do ar pode apresentar efeitos agudos e crônicos, sendo que esses efeitos estão relacionados aos níveis de concentração e ao tempo em que os indivíduos foram expostos. Os efeitos agudos se manifestam após um curto espaço de tempo entre a exposição e os efeitos (horas ou dias). Efeitos crônicos se manifestam após um longo espaço de tempo, ou seja, indivíduos expostos à poluição durante anos.

Os principais sintomas associados incluem mortalidade diária, aumento na procura pelos serviços de saúde, disfunções nos sistemas cardiovascular, respiratório e imunológico podendo desenvolver doenças cardíacas, câncer, asma, rinite, bronquite, entre outras (CURTIS et al., 2006; MORAES, 2010). Alguns estudos epidemiológicos têm mostrado associações entre sintomas respiratórios, como tosse e chiado, com a exposição ao material particulado, sendo que as maiores associações estão entre o material particulado e a tosse (QIAN et al., 2004; PIERSE et al., 2006).

Os grupos mais suscetíveis são as crianças, idosos e portadores de doenças crônicas (imunocomprometidos). As crianças apresentam metabolismo mais acelerado, uma maior atividade física quando comparados aos adultos, permanecem por mais tempo em ambientes externos e o volume de ar que passa pelas vias respiratórias da criança em repouso é o dobro daquele nos adultos para as mesmas condições. Além disso, a irritação causada pelos poluentes que nos adultos produziria uma fraca resposta pode resultar potencialmente em uma obstrução significativa, além do sistema imunológico não estar totalmente desenvolvido, aumentando assim, a possibilidade de infecções respiratórias (ARBEX et al., 2012).

Os idosos apresentam um sistema imunológico menos eficiente com progressivo declínio na função pulmonar que pode levar a obstrução das vias aéreas e limitação dos exercícios, além de gastos adicionais de energia para efetuar os movimentos respiratórios (ARBEX et al., 2012).

Os efeitos apresentados em indivíduos imunocomprometidos independem da idade pois ao entrar em contato com a poluição ocorre a intensificação dos problemas respiratórios, circulatórios e/ou cardiovascular. Esse grupo é formado pelos portadores de doenças crônicas pré-existentes que atingem, principalmente, o sistema respiratório (asma, DPOC e fibroses) e circulatório (arritmias, hipertensão e doenças isquêmicas do coração) (ARBEX et al., 2012).

Estudos realizados na cidade de São Paulo demonstraram a relação entre o aumento nas concentrações de poluentes com a mortalidade/morbidade diária em idosos e crianças e o aumento no atendimento de emergências respiratórias (SALDIVA et al., 1994; SALDIVA et al., 1995; BRAGA et al., 1999; LIN et al., 1999; BRAGA et al., 2001b).

Em um estudo de Gouveia e Fletcher (2000) foi encontrado uma relação entre as concentrações de poluição do ar na cidade de São Paulo com efeitos adversos de curto prazo sobre a morbidade respiratória infantil, sendo que para um aumento nas concentrações de MP₁₀ em 100 µg/m³ resultou em um risco relativo de 1,04. O risco relativo (RR) é uma medida de associação utilizada em estudos epidemiológicos, assim como o *odds ratio* (OR), e tem por objetivo avaliar a relação entre o fator de risco e o desfecho (WAGNER; CALLEGARI-JACQUES, 1998).

Outro estudo realizado em São Paulo relacionando poluição do ar e admissões respiratórias em crianças e jovens relatou uma maior associação do MP₁₀ nas admissões respiratórias para o grupo mais jovem (≤ 2 anos) e mais velho (14 – 19 anos) (BRAGA et al., 2001b).

Na literatura há um crescente aumento em estudos que relacionam a poluição do ar interna/externa e seus efeitos a curto prazo na saúde respiratória em escolares (ROJAS-BRACHO et al., 2002; ALVES et al., 2013; ANNESI-MAESANO et al., 2013; MADUREIRA et al., 2009; MADUREIRA et al., 2015). No Brasil, o tema ainda é pouco explorado principalmente quando a amostra populacional é de jovens/adultos. Entende-se que estudos que abordam os efeitos à curto prazo em grupos menos suscetíveis também são importantes, pois podem influenciar a saúde à longo prazo e ocasionar o surgimento de problemas crônicos a essa população.

Em um estudo com 177 professores, sobre a qualidade do ar interna nas escolas de Portugal, foi encontrado relações significativas entre problemas respiratórios e o aumento das concentrações de partículas respiráveis (média interna de $88 \mu\text{g m}^{-3}$) (MADUREIRA et al., 2009). Outro estudo realizado nas escolas de Portugal, porém em crianças, obteve como resposta o aumento de tosse para as maiores exposições de $\text{PM}_{2,5}$ (OR de 1,26) e PM_{10} (OR de 1,36). As concentrações internas excederam os valores limites sugeridos pelas diretrizes de qualidade do ar (WHO), e apresentaram variações de 39 a $244 \mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$ e de 53 a $320 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} (MADUREIRA et al., 2015).

1.5 HIPÓTESE

Para este estudo, foram selecionados indivíduos que permanecessem nos sítios amostrais por um período mínimo de 4 horas por dia e por pelo menos cinco dias consecutivos, tempo de exposição mínima para o surgimento de sintomas a curto prazo. Além disso deveriam frequentar o local a pelo menos 6 meses, sendo excluídos aqueles que de alguma forma não permanecessem durante este período mínimo nas instituições.

A hipótese do estudo foi que mesmo a região urbana sendo de médio porte e considerada não poluída que as concentrações de MP poderia ser fator de risco. Desta forma, as variações nas concentrações de MP entre as estações de verão e inverno resultariam em mudanças nas respostas aos sintomas respiratórios em um grupo de jovens/adultos saudáveis. Além disso, esperava-se que os sítios amostrais apresentassem concentrações distintas por estarem localizados em diferentes regiões com características urbanas diferentes, e estas poderiam afetar as respostas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa tem por objetivo avaliar a concentração em massa e número do material particulado e *black carbon* em duas Instituições de Ensino de localidades diferentes, no verão e inverno, a fim de correlacionar possíveis sintomas respiratórios nestas populações com as variáveis analisadas em decorrência de exposições à curto prazo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar os níveis de concentração em massa (MP₁, MP_{2,5}, MP₄, MP₁₀ e PTS) e número de partículas (nos tamanhos de 0,3, 0,5, 1,0 e 2,5 µm) para ambiente interno em dois sítios de amostragem, no verão e no inverno;

Analisar as concentrações de MP_{2,5} e BC dos ambientes externos no verão e inverno;

Analisar a prevalência de sintomas respiratórios de curto prazo, através da aplicação de questionário em ambos os sítios de amostragem, no verão e inverno;

Avaliar as possíveis associações dos sintomas respiratórios com as concentrações de material particulado, temperatura e umidade relativa do ar.

3 METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

Os estudos epidemiológicos podem ser classificados em experimental (ensaios clínicos, ensaios de comunidade) e observacional (relato de séries de casos, estudo transversal, ecológico, coorte, caso-controle, longitudinal). E os estudos epidemiológicos observacionais podem ser classificados em descritivo e analítico (LIMA-COSTA; BARRETO, 2003).

Estudos observacionais analíticos estudam a associação entre causa e efeito, ou seja, examinam a relação entre uma exposição e uma doença (condição relacionada a saúde),

sendo que os principais delineamentos de estudos analíticos são o ecológico, coorte, caso-controle, longitudinal, transversal (LIMA-COSTA; BARRETO, 2003).

Foi utilizado um estudo epidemiológico longitudinal de medidas repetidas. Este tipo de estudo tem por finalidade avaliar um mesmo grupo de indivíduos em um período de tempo determinado (GOLDSTEIN, 1968; MARTINS et al., 2013).

3.2 ÁREA DO ESTUDO

Localizado ao norte do Estado do Paraná, o Município de Londrina apresenta uma população em torno de quinhentos mil habitantes, com densidade demográfica de 307 habitante/km² e ocupa uma área urbana de 165 km² (IBGE, 2016).

O estudo foi desenvolvido em duas Instituições de Ensino Superior, ambas localizadas no município de Londrina, porém em regiões distintas (P1 e P2) como mostra a Figura 3. Segundo dados do IBGE (2015), nos últimos anos, Londrina vem se destacando como um dos municípios de maior crescimento populacional, acima de 5 mil habitantes por ano, sendo a segunda maior cidade do Estado do Paraná.

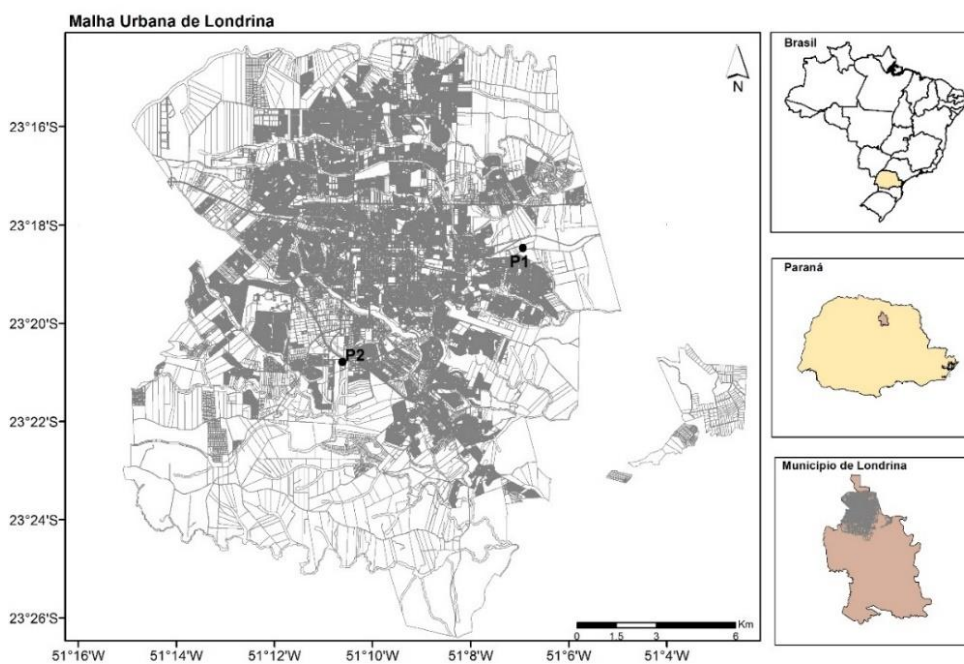


Figura 3: Localização da área de estudo.

Com relação ao crescimento industrial houve um aumento em 44,8% para o período de 2006 a 2013. A participação da cidade de Londrina no PIB industrial em 2012 foi de 3,4%, ocupando assim a 5ª posição (FRÖHLICH, 2015). Entre as principais atividades econômicas de Londrina destacam-se a indústria, a construção civil, o comércio atacadista e varejista, serviços (transporte, comunicação, médicos, ensino, etc) e agropecuária (agricultura, silvicultura, etc) (IPARDES, 2016).

Segundo dados do DENATRAN (2016) a frota veicular teve um crescimento de 0,5% entre o período de março a agosto de 2016. A frota que no mês de março era de 382.691 veículos passou para 384.619. Com relação aos combustíveis utilizados houve um crescimento no número de veículos flex e a diesel e a diminuição de veículos que utilizam apenas gasolina e etanol.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é o subtropical (Cfa) e apresenta verões mais quentes e invernos mais amenos (ALVARES et al., 2014). A climatologia da região (1970 a 2013), representada pela Figura 4, mostra temperaturas mais elevadas nos meses de dezembro a março (médias de 24° C) e temperaturas mais baixas entre maio e agosto (médias entre 16 e 18° C).

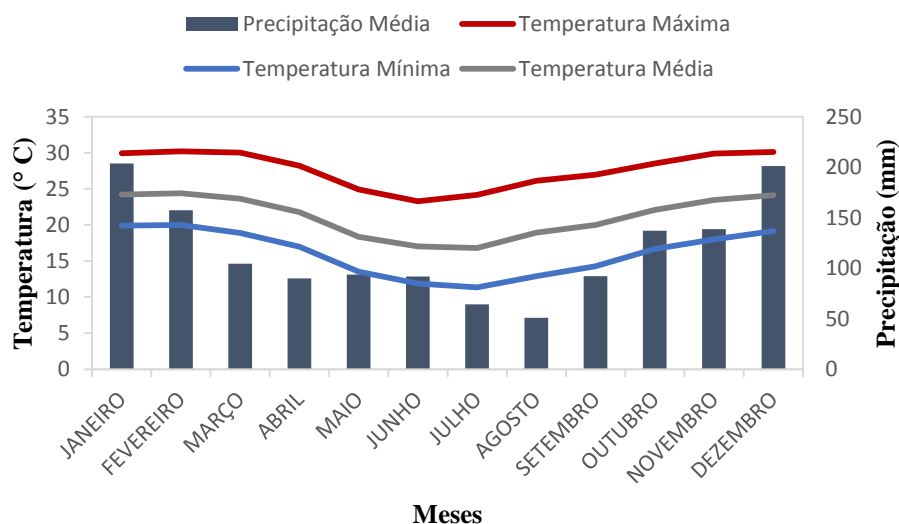


Figura 4: Média mensal de temperatura e precipitação entre 1970 e 2013.

Com relação à média mensal de precipitação, as maiores precipitações ocorrem no verão, nos meses de dezembro e janeiro (aproximadamente 200 mm), e menores precipitações no inverno, nos meses de julho e agosto (aproximadamente 57 mm), caracterizando assim o regime de chuva do local com verões chuvosos e invernos

relativamente secos, como mostra a Figura 4. Os ventos predominantes são de sudeste com velocidade média anual de aproximadamente $0,7 \text{ m s}^{-1}$.

3.2.1 Caracterização dos sítios de amostragem

Para a seleção dos sítios amostrais, buscou-se locais que estivessem inseridos em uma mesma categoria. Além disso, buscou-se atividades que não apresentassem um alto potencial poluidor, a fim de garantir que as concentrações encontradas estariam relacionadas a localidade e não a atividade.

Por fim, buscou-se locais onde o índice de aceitação e contribuição à pesquisa fosse maior. Entende-se que de modo geral as pessoas que trabalham e estudam em Instituições de Ensino compreendem melhor a importância de pesquisas acadêmicas principalmente aquelas relacionadas a saúde, e por isso, foram selecionadas duas Instituições de Ensino Superior.

Uma das instituições está localizada na região leste (P1), sendo que o ponto de amostragem se encontra em uma área semi-urbanizada. O P1 é caracterizado pela presença de áreas agrícolas e sítios circundando o local, e a presença de área residencial e de pequenas atividades industriais um pouco mais afastado do sítio. A Figura 5 representa a vista aérea do P1, sentido oeste, sendo que, os locais onde os equipamentos foram instalados estão sendo representados pelas setas em amarelo.

A presença da linha férrea ao fundo da instituição é outra característica do local, bem como a via em frente ao campus, sendo esta, a única via de acesso. Do lado oposto à cidade há uma extensa área de agricultura e uma estrada não pavimentada que segue em direção a cidade de Ibiporã (Apêndice A).



Figura 5: Vista aérea do P1.

O fluxo de veículos, em grande parte está associado as pessoas que trabalham e estudam no local, ou seja, basicamente veículos leves. No entanto, a construção de um condomínio próximo ao P1 e a existência de estrada de terra que liga a cidade de Londrina à Iporã tem levado a um aumento no fluxo de veículos leves e pesados. Outra peculiaridade do local é a queima constante de biomassa e resíduo em geral (grama, lixo, pneu, óleo residual, etc) próximo a instituição, sendo que a queima ocorreu em praticamente todos os dias de amostragem (Figura 6).



Figura 6: Queima registrada no período de amostragem próxima ao P1.

A outra instituição está localizada na região sudoeste (P2) da cidade de Londrina, sendo que o ponto de amostragem se encontra em uma área urbanizada, próxima a PR 445 - trecho de entroncamento entre a PR-323 e a BR-369 - rodovia de intenso fluxo de veículos leves e pesados. Durante as amostragens, a PR-445, no trecho entre as cidades de Londrina e Cambé e próximo ao P2, estava em fase final de duplicação (DER, 2016). Desta forma, o fluxo veicular que passa em frente a Instituição (P2) estava sendo desviado para a marginal.

O P2 está próximo não só da rodovia, mas de duas outras Instituições de Ensino e um shopping, ou seja, uma área com um fluxo mais intenso de veículos quando comparado ao P1. O P2 é caracterizado pela presença da rodovia e prédios circundando o local, além de áreas de campo aberto em seu entorno, como mostra a Figura 7. Os locais onde foram instalados os equipamentos estão sendo indicados pelas setas amarelas.

Apesar do P2 apresentar algumas características parecidas com o P1, como a presença de campo aberto ao redor e estar instalado em uma região mais periférica, como mostra o Apêndice B, pode-se considerar que o P2 se encontra mais inserido na área urbana que P1.



Figura 7: Vista aérea do P2.

3.3 PERÍODO DE AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada em duas etapas ao longo do ano de 2016. A primeira foi realizada de 21/03 a 08/04, na transição do verão para o outono, mas que será denominado como verão ao longo do texto, e a segunda foi realizada no inverno, de 03/08 a 25/08.

A primeira etapa abrangeu a amostragem populacional a partir da aplicação do questionário e a amostragem do material particulado em ambientes internos e externos. Para a segunda etapa, os mesmos processos foram repetidos. Com relação a amostragem populacional, esta foi realizada com os mesmos indivíduos em ambas as etapas (verão e inverno).

3.4 AMOSTRAGEM POPULACIONAL

3.4.1 Tamanho da Amostra

Para o cálculo do tamanho da amostra foi utilizado como referência o estudo de Rodriguez-Villamizar et al. (2012), realizado em Bucaramanga, na Colômbia, sobre os efeitos da poluição do ar na saúde respiratória. Assim, com base neste estudo, foi realizado o cálculo do tamanho da amostra a um nível de significância de 5% e poder de 80% para um teste bicaudal. Considerando as proporções no grupo 1 e 2 de 15 e 24%, respectivamente, obteve-se uma amostra de 303 indivíduos, sendo acrescentados a amostra 20% para possíveis perdas, resultando em um total de 364 entrevistas.

Com relação aos valores inseridos nas proporções 1 e 2, estes se referem a valores base para a prevalência de doenças respiratórias em condições baixas e altas, respectivamente. Alguns estudos trazem para a prevalência de doenças respiratórias, valores entre 10 a 20%, e por isso, foi considerado um valor médio de 15% para o estudo (TEODORO; ANDRADE, 2000; MISSAGIA, 2012; RODRIGUEZ-VILLAMIZAR et al., 2012). Já o segundo valor, foi obtido considerando o aumento de 60% da prevalência em relação ao primeiro valor, encontrado na incidência dos sintomas respiratórios totais para

locais de médio nível de poluição quando comparado a locais de alto nível (RODRIGUEZ-VILLAMIZAR et al., 2012).

O cálculo foi realizado utilizando recursos de um programa online (<http://www.lee.dante.br/>) o Laboratório de Epidemiologia e Estatística (LEE), do Instituto Dante Pazzanese na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP).

3.4.2 Questionário

Para o conhecimento e identificação de sinais e sintomas respiratórios na população, primeiramente, foi necessário definir a forma com que esses sintomas seriam avaliados. Estudos epidemiológicos relacionados a efeitos respiratórios empregam como método a utilização de questionários que abordem os sintomas e sinais de forma clara e simples, além de análises clínicas e exames, realizadas por profissionais capacitados, muitas vezes utilizadas para complementar e reafirmar os resultados obtidos pelos questionários (PIVETTA; BOTELHO, 1997; MADUREIRA et al., 2015; ZENG et al., 2016).

A preferência na utilização do questionário no estudo ocorreu devido ao baixo custo e a fácil aplicação e além disso são úteis na detecção de sintomas respiratórios. Para estudos que tem como objetivo o diagnóstico de doenças, os questionários não podem ser aplicados isoladamente, sendo necessárias análises complementares.

Segundo Publio (2008) os principais questionários citados pela literatura são o *Medical Research Council* (MRC), o *International Study of Asthma and Allergies in Childhood* (ISAAC) e o *European Community Respiratory Health Survey* (ECRHS). No presente estudo foi utilizado um questionário adaptado e já validado em outros trabalhos, o *Medical Research Council* (MRC) (Apêndice C). A utilização de questionários validados traz aos estudos maior confiabilidade nos resultados obtidos por eles. (RAMOS, 1983; AUGUSTO JR.; CARMO FILHO; SOUSA, 2014).

O MRC foi elaborado pelo *British Medical Research Council* e introduzido nas pesquisas em 1950, sendo utilizado mundialmente por vários pesquisadores. Este questionário aborda questões referentes aos sintomas respiratórios dentre eles a tosse e o catarro (questões de frequência e intensidade) e o chiado (com/sem falta de ar) (PUBLIO, 2008).

Além da utilização do questionário validado foram realizadas perguntas para a identificação do perfil da população entrevistada e avaliação ambiental, além de pequenas mudanças na ordem, com o intuito de tornar o questionário mais claro, de fácil entendimento e prático. As mudanças realizadas não alteraram ou comprometeram sua validação, e apenas serviram de controle para possíveis influências externas, minimizando assim qualquer tipo de viés.

As questões abordadas foram data de nascimento, sexo, nível de escolaridade, formação e ocupação, endereço, além de questões sobre o tipo de construção da residência, a utilização de tipos específicos de fogões, como a lenha, e características da região onde o entrevistado mora, como por exemplo, a presença ou não de indústrias ou construções que liberem fumaça e/ou poeira. Por fim, algumas questões sobre o tempo de frequência na instituição e há quanto tempo trabalhava/estudava no local também foram adicionadas.

3.4.3 Coleta de dados

A aplicação do questionário foi feita em formato de entrevista, sendo que ocorreram nos períodos matutino, vespertino e noturno, durante todos os dias da semana em um período determinado, excluindo-se o sábado, domingo e feriados devido à ausência de pessoas no local.

Para participar do estudo alguns critérios de inclusão e exclusão foram delineados. Foram incluídos na pesquisa alunos, professores, técnicos ou qualquer funcionário com idade superior a 18 anos que exercesse algum tipo de função permanecendo na instituição por um período mínimo de 4 horas por dia por pelo menos cinco dias consecutivos. Foram excluídos da pesquisa indivíduos que acabaram de ingressar na instituição ou que estavam prestes a se formar.

A coleta de dados foi realizada pelo próprio pesquisador com o auxílio de um entrevistador sendo que ambos foram devidamente treinados. As entrevistas foram realizadas a partir de um aplicativo desenvolvido apenas para a aplicação do questionário, e constavam todas as questões do MRC, para isso foi necessária a utilização de instrumentos eletrônicos (*Tablets*) fornecidos pelo Laboratório de Análises em Poluição do Ar (LAPAR).

3.5 AMOSTRAGEM DO MATERIAL PARTICULADO

Para a amostragem do material particulado foram utilizados um total de seis equipamentos, ou seja, foram instalados três em cada instituição, sendo que todos os equipamentos utilizados apresentam certificado de calibração. Nos ambientes internos foram instalados dois monitores, sendo que um afere a concentração em massa do material particulado ($\mu\text{g m}^{-3}$) e o outro a concentração em número de partículas presentes no ar (número de partículas L^{-1}). Já nos ambientes externos foram instalados equipamentos coletores, sendo que para obter a concentração final foi necessária a pesagem dos filtros antes e após a amostragem.

A utilização de um mesmo equipamento para ambos os ambientes foi inviável devido a fatores financeiros e técnicos, como por exemplo, a falta de recursos para a obtenção de equipamentos iguais e ao tipo de ambiente em que o equipamento foi exposto. Assim, para ambientes externos foram utilizados equipamentos mais robustos enquanto que para ambientes internos foram utilizados equipamentos portáteis e silenciosos, com o intuito de não causar desconforto àqueles que frequentariam o local.

Sabe-se que para níveis comparativos o ideal é a utilização de equipamentos similares durante a amostragem, no entanto, o objetivo deste estudo não foi comparar as concentrações entre ambientes em um mesmo local, mas sim entre regiões. Por isso, ateu-se a utilização de equipamentos que apresentassem o mesmo método de medição, sendo que, para os ambientes externos foram escolhidos equipamentos que apresentassem o método de análise gravimétrica (pesagem de filtros) e para os equipamentos internos foram utilizados equipamentos que possuíam o método de detecção por espalhamento de luz.

3.5.1 Ambiente Interno

Para a instalação dos equipamentos nos ambientes internos buscou-se locais similares em ambas as instituições. As salas onde os aparelhos foram instalados possuíam ar condicionado, sendo que estes permaneceram ligados durante o horário comercial e além disso, as salas apresentavam fluxo de pessoas moderado. Os equipamentos utilizados em

ambas as instituições são do modelo Aerocet 831 e 804 da marca Met One Instruments (Figura 8) e estão descritos abaixo:

- Monitor de massa de aerossol, modelo Aerocet 831. O equipamento utiliza um algoritmo próprio para converter dados de contagem em medições de massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) calculando o volume para cada partícula detectada, e então atribui-se uma densidade padrão para sua conversão. O monitor de massa fornece cinco intervalos de massa, o MP_1 , $\text{MP}_{2,5}$, MP_4 , MP_{10} e o PTS.

- Contador de partículas, modelo 804. Esse equipamento tem como princípio de funcionamento a contagem individual de partículas usando o método de espalhamento da luz. O contador mede o número de partículas presentes no ar, entre a faixa de tamanho selecionada pelo usuário até aproximadamente $15 \mu\text{m}$ de tamanho. O equipamento opera em quatro canais de contagem, no entanto, os canais podem ser selecionados pelo pesquisador em até sete tamanhos distintos (0,3; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 e $10 \mu\text{m}$). Os tamanhos utilizados foram de 0,3; 0,5; 1,0 e $2,5 \mu\text{m}$.



Figura 8: Equipamentos utilizados nos ambientes internos.

3.5.2 Ambiente Externo

Para os ambientes externos buscou-se locais com maior circulação de pessoas, e por isso, os equipamentos foram instalados próximos as cantinas. Os equipamentos utilizados no ambiente externo durante a campanha de verão foram o Partisol 2000i-D da marca Thermo Scientific (Figura 9) e o Ciclone 2000-30 E H da URG (Figura 10), e os utilizados durante a campanha de inverno para ambos os locais foi o Ciclone 2000-30 E H da URG.

Análises estatísticas foram realizadas entre os equipamentos externos, sendo que os três equipamentos apresentaram semelhança entre os dados. Seguem descritos abaixo os equipamentos utilizados:

- O Partisol 2000i-D é um amostrador dicotômico, e seu funcionamento ocorre pelo recolhimento de partículas de 2,5 e 10 μm simultaneamente. A vazão da fração fina ($\text{MP}_{2,5}$) é de 15 L min^{-1} e a da fração grossa ($\text{MP}_{2,5-10}$) é de 1,67 L min^{-1} . O sistema coleta o material particulado em filtros de fibra de quartzo da Whatman (QM-A) com 47 mm de tamanho, 2,0 μm de porosidade e eficiência superior de 97,9% na retenção de partículas, com diâmetro acima 0,3 μm .



Figura 9: Equipamento utilizado no ambiente externo.

- O Ciclone 2000-30 E H tem por objetivo separar as partículas finas das mais grossas, isso ocorre a partir da força e do movimento aplicado na porção de ar sorvido pelo *inlet*, sendo que as mais finas são arrastadas para cima ficando depositadas no filtro (WU et al., 2016; SONG et al., 2016). A vazão para o $\text{MP}_{2,5}$ foi ajustada para 16,7 L min^{-1} , sendo conferidas nas trocas dos filtros. Os filtros utilizados no ciclone também foram os de quartzo com 47 mm de tamanho e 2,0 μm de poro (Whatman).



Figura 10: Ciclone 2000-30 E H utilizado na amostragem externa.

3.6 ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

Para minimizar possíveis erros, os filtros foram acondicionados da mesma maneira antes e após a amostragem. Estes permaneceram abertos em uma caixa de plástico hermeticamente vedada juntamente com filme de PVC. Em seu interior foram inseridas placas de petri contendo sílica, também recobertas com filme, de forma a controlar a umidade no interior da caixa. As caixas foram levadas ao Laboratório de Análises Cromatográfica e Ambiental (LACA), na Universidade Estadual de Londrina (UEL), onde permaneceram por um período mínimo de 24 horas em condições controladas, com temperatura a 18 °C e umidade relativa de 60%.

Os filtros foram pesados em triplicata, sendo que cada pesagem levava um tempo médio de 30 segundos para estabilização da balança. Para a pesagem dos filtros foi utilizada a balança micro analítica AX 26 da Mettler Toledo (pesagem máxima de 22 g e precisão de 1 µg).

Após o término de cada pesagem, antes e após a amostragem, os filtros foram acondicionados em placas de petri e embalados com filme de PVC e permaneceram acondicionados no Laboratório de Análises em Poluição do Ar (LAPAR), na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, durante toda a campanha. Os filtros amostrados e pesados foram armazenados em geladeira, onde permanecem devidamente identificados.

Para o cálculo da concentração da massa foram utilizadas as metodologias referentes ao tipo de equipamento utilizado. Para os filtros amostrados no Partisol foi utilizada a metodologia estabelecida pelo próprio equipamento, especificado no manual pelas equações abaixo:

$$C_f = \frac{M_f}{V_f}$$

$$C_c = \frac{M_c}{V_t} - \frac{V_c}{V_t} \times C_f$$

$$C_t = C_f + C_c$$

$$V_{\text{corrigido}} = V_{\text{std}} \times \left[\left(T_{\text{std}} + \frac{273,15}{273,15} \right) \times \left(\frac{760}{P_{\text{std}}} \right) \right]$$

Onde, C_f é a concentração da fração fina ($\mu\text{g m}^{-3}$), M_f é a massa coletada na fração fina (μg), o V_f é o volume de ar amostrado para partículas finas (m^3), o C_c é a concentração da fração grossa ($\mu\text{g m}^{-3}$), o M_c é a massa coletada na fração grossa (μg), V_c é o volume de

ar amostrado para partículas grossas (m^3), V_t é o volume total de ar amostrado (m^3), e C_t concentração da massa do MP_{10} ($\mu g m^{-3}$). Para o volume corrigido tem-se que V_{std} é o volume amostrado corrigido pelo método do CONAMA para pressão de 760 mmHg e temperatura de 25°C, o T_{std} é a temperatura medida e o P_{std} a pressão medida. O equipamento corrige a pressão e temperatura para 760 mmHg e 25°C, respectivamente.

O cálculo utilizado para os filtros amostrados no Ciclone foi:

$$Conc\ MP_{2,5} \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) = \frac{m}{v \cdot t}$$

Onde, m é referente a massa do material depositado no filtro (μg), o v é o volume de ar especificado pelo equipamento ($16,7 L min^{-1}$) e t , o tempo em que o equipamento permaneceu em funcionamento (24 horas).

3.7 ANÁLISE DE *BLACK CARBON*

Para a determinação da concentração de BC nos ambientes externos foi utilizada uma forma indireta de medida, ou seja, a análise foi realizada nos filtros de $MP_{2,5}$. Para a análise desse material, utilizou-se o método de refletância de luz, que consiste na absorção de luz pelo BC. O refletômetro utilizado foi o Diffusion Systems Ltda. Model 43 (M43D) (Figura 11).



Figura 11: Refletômetro utilizado durante a amostragem.

Beal (2015) realizou a comparação entre os dados obtidos pelo refletômetro e pelo aetalômetro (medida direta de medição de BC) durante um mesmo período para validação dos dados. A partir de testes estatísticos foi comprovada a semelhança entre ambas as

medições e por isso, para este estudo foi seguida a mesma metodologia validada por Beal para análise de BC.

Para a verificação da linearidade do equipamento alguns procedimentos foram necessários. Após os cuidados iniciais de limpeza e montagem, o equipamento foi ligado e mantido sem uso por pelo menos 30 minutos. Após esse tempo a leitura do equipamento foi ajustada a zero, a leitura do padrão branco a 100 e a refletância do padrão cinza deveria se ajustar automaticamente a $35 \pm 1\frac{1}{2}$. O processo era repetido caso a leitura do padrão cinza estivesse fora do valor indicado pelo fabricante.

Antes de iniciar a medição dos filtros amostrados foi feita a seleção dos filtros controles. Cinco filtros brancos foram selecionados para medição da refletância, sendo que para o primeiro filtro a leitura foi ajustada a 100, e aquele com um desvio padrão menor foi utilizado para a recalibração durante a medição dos filtros analisados.

Com o filtro controle principal selecionado foi ajustada sua leitura para 100 de refletância, e em seguida foi feita a leitura dos filtros amostrados, a partir do método dos cinco pontos. Este método consiste na leitura de cinco pontos diferentes para um mesmo filtro sendo que a média de refletância obtida para cada filtro foi inserida em uma equação empírica obtida por HETEM (2014) e validada por Beal (2015) para a obtenção da concentração do BC em $\mu\text{g m}^{-3}$.

3.8 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos analisados durante as campanhas foram temperatura média ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%), precipitação (mm), velocidade do vento (m s^{-1}) e direção do vento (graus). Estes dados foram obtidos nas estações meteorológicas da UTFPR e do IAPAR/SIMEPAR. Devido a problemas apresentados pelo pluviômetro na estação da UTFPR, apenas os dados de precipitação foram obtidos na estação do INMET, que se encontra localizada próxima a estação da UTFPR.

Neste estudo foram utilizadas ambas as estações para uma melhor caracterização dos sítios amostrais, a partir da análise das condições meteorológicas apresentadas durante as campanhas de verão e inverno. A estação da UTFPR está localizada no sítio P1 enquanto a do IAPAR/SIMEPAR está próxima ao sítio P2.

3.8.1 Caracterização climatológica do período de estudo

Para a avaliação das condições meteorológicas durante as campanhas em relação a climatologia da região foi utilizado o teste de Kolmogorov – Smirnov, para duas amostras independentes. Esse teste consiste em avaliar a diferença entre duas amostras independentes, em que os dados de uma não estão relacionados com os escores da outra. Aceita-se H_0 caso os dados sigam uma distribuição normal e rejeita-se H_0 caso os dados não sigam uma distribuição normal (VIALI, 2008).

A análise consistiu em comparar as variáveis meteorológicas das campanhas de verão e inverno de 2016, de ambos os sítios de amostragem, com a série histórica fornecida pelo IAPAR/SIMEPAR para o período de 1976 a 2015. O objetivo desta análise foi analisar a semelhança entre o período das campanhas com a série histórica para verificar se os períodos se encontram dentro da normalidade climatológica.

As variáveis utilizadas foram temperatura média, umidade relativa e precipitação. Para a análise dos dados, primeiramente foi realizada a média diária das variáveis para cada período, e em seguida estas foram comparadas com as médias diárias da série histórica (39 anos) dos mesmos dias das amostragens, ou seja, de 21/03 a 08/04 e 03/08 a 25/08.

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para todas as análises estatísticas realizadas foi utilizado o *software* RStudio. Os pacotes utilizados para as análises incluíram o *openair* para a geração das figuras da rosa dos ventos, o *ExpDes.pt* para a análise fatorial, o *corrplot* para análise de correlação e o *gee* para a análise de regressão.

3.9.1 Estatística Descritiva

Primeiramente foram realizadas análises estatísticas descritivas através da média, mediana e desvio padrão para as concentrações em massa e em número de partículas amostrados durante as campanhas de verão e inverno pelos equipamentos internos e externos, em ambos os sítios amostrais (GUIMARÃES, 2008; MARTINS, 2009; BEAL, 2015).

Em seguida, foram realizadas análises estatísticas mais detalhadas, a partir da análise fatorial, correlação e regressão entre as variáveis medidas em conjunto com os dados obtidos pelos questionários durante as campanhas de verão e inverno, afim de se obter respostas sobre a relação entre as concentrações e os sintomas apresentados pelos indivíduos.

3.9.2 Análise fatorial por Delineamento Inteiramente Casualizado

Para melhor interpretação dos resultados foi realizado um fatorial duplo (fatorial 2x2) e triplo (fatorial 2x2x2) em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) (DUARTE, 1996). Na análise de fatorial duplo foram inseridos os fatores estação (verão e inverno) e instituição (P1 e P2), já para o fatorial triplo, além dos fatores já mencionados foi inserido a localidade (interno e externo).

As análises fatoriais foram feitas para as concentrações em massa (MP_1 , $MP_{2,5}$, MP_4 , MP_{10} , PTS e BC) e em número de partículas (tamanhos de 0,3, 0,5, 1,0 e 2,5), além disso foram inseridos os valores meteorológicos de temperatura média e umidade relativa.

Na análise em questão, todas as variáveis mencionadas foram simultaneamente consideradas, sendo que cada uma estará relacionada com todas as outras. De certa forma, a análise fatorial tem por objetivo resumir e reduzir um número grande de dados sem perder seu caráter original, auxiliando, portanto, na seleção de subconjuntos representativos que descrevem os dados em um número menor de conceitos (COSTA; SOUZA; GOUVEA, 2007).

A análise em DIC ocorreu devido aos princípios utilizados de repetição e casualização, não levando em conta o princípio de controle local. O delineamento inteiramente casualizado é o mais simples de todos os delineamentos experimentais, e apresenta certas vantagens como: o número de repetições variando de um tratamento a outro e o número alto de graus de liberdade para o resíduo, proporcionando uma maior precisão

do experimento. Apresenta ainda algumas desvantagens como: estimativas elevadas do erro experimental e homogeneidade das condições experimentais (FERREIRA, 2011).

Além disso, algumas condições precisaram ser satisfeitas para que a análise seja válida, entre elas a aditividade, a independência, a normalidade e a homocedasticidade (homogeneidade de variâncias) (COSTA, 2016). Para os dados que não apresentaram uma distribuição normal no fatorial em DIC, a análise de semelhança entre os valores foi refeita utilizando o teste não paramétrico de Mann-Whitney (BEAL, 2015).

3.9.3 Análise de Correlação

Devido à grande quantidade de dados a serem explorados e como forma de selecionar quais variáveis entrariam na análise de regressão foi realizado um teste de correlação linear de Pearson. Para isso foram analisadas todas as variáveis obtidas no estudo, ou seja, foi feita a correlação para as concentrações internas e externas para os dois sítios de amostragem (P1 e P2) e para as duas campanhas (verão e inverno).

A correlação linear de Pearson mede a intensidade linear entre os valores, sendo que quanto mais próximo de 1 ou -1 maior será a correlação entre as concentrações. A análise se encontra em maiores detalhes em um estudo de Beal (2015).

3.9.4 Análise de Regressão

Os modelos de regressão são utilizados para estudar o comportamento de uma variável resposta em relação a uma ou mais variáveis independentes ou também chamadas de explicativas. Os modelos tradicionais apresentam independência entre os indivíduos observados, sendo que para a análise de estudos longitudinais ou estudos envolvendo dados agrupados são utilizados os Modelos de Efeitos Mistos ou as Equações de Estimação Generalizada (*Generalized Estimating Equations* - GEE) (AGRANONIK, 2009).

Neste estudo o método utilizado foi o de Equações de Estimação Generalizada pelo fato das variáveis serem dependentes, e sua aplicação ser para dados contínuos e categóricos,

além disso é muito utilizado em análises de medidas longitudinais ou repetidas com variáveis respostas não normais (BALLINGER, 2004; GUIMARÃES; HIRAKATA, 2012). O GEE é uma extensão dos modelos lineares generalizados (*Generalized Linear Model* - GLM) e deve ser usado quando se pretende realizar um estudo em um contexto populacional e não individual (EDWARDS, 2000; TWISK, 2004).

A análise de regressão das variáveis explicativas e da variável resposta por GEE foi feita primeiramente utilizando o modelo univariável, ou seja, utilizando individualmente cada variável explicativa. Com base nos coeficientes estimados pelo modelo univariável foram definidas as variáveis utilizadas no modelo multivariável, ou seja, com várias variáveis explicativas e a variável resposta.

No modelo univariável, as variáveis utilizadas foram de temperatura, umidade relativa, período, MP_{2,5}, MP₁₀, BC, nP_{0,3} e nP_{2,5}, e foram selecionadas a partir do resultado da análise de correlação, ou seja, aquelas menos correlacionadas entre si foram analisadas. No modelo multivariável foram usadas MP_{2,5}, MP₁₀, nP_{2,5}, BCe, temperatura, UR e período. A partir dos coeficientes estimados e considerando uma significância de 5% (p = 0,05) foram calculados o risco relativo e o intervalo de confiança.

3.9.5 Risco Relativo

O risco relativo é uma medida de associação que tem por objetivo analisar a relação entre desfecho e fator de risco. Desfecho pode ser definido como sendo o evento de interesse da pesquisa, já o fator de risco está relacionado à variável que estará associada ao desfecho (WAGNER; CALLEGARI-JACQUES, 1998).

O risco relativo é definido como a razão entre a incidência do desfecho nos indivíduos expostos (mais expostos) e a incidência do desfecho nos indivíduos não-expostos (menos expostos). Para o cálculo do risco relativo (RR) tem-se (COELHO; MASSAD, 2012):

$$RR = \exp(\beta_i)$$

Onde,

β_i é o coeficiente obtido pelo GEE;

A interpretação do risco relativo ocorre da seguinte forma:

- RR = 1: não há associação entre o fator de estudo e o risco;
- RR < 1: fator de associação com ação protetora, não constitui risco à saúde;
- RR > 1: há associação, o fator estudado é um fator de risco.

O cálculo do intervalo de confiança (IC) variou de acordo com o tipo de variável, ou seja, se a variável era contínua ou categórica. A fórmula utilizada foi a mesma, no entanto para variáveis contínuas foi estabelecido um delta (Δ) (WHO, 2004):

$$IC_{95\%} = \exp[\beta_i \pm 1,96 * Ep(\beta_i)], \text{ para variável categórica}$$

$$IC_{95\%} = \exp[(\beta_i * \Delta) \pm (1,96 * Ep(\beta_i) * \Delta)], \text{ para variável contínua}$$

Onde,

Ep é o erro padrão;

$\Delta = 2 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP₁₀, MP_{2,5} e nP_{2,5}; $\Delta = 10 \mu\text{g m}^{-3}$ para nP_{0,3}; $\Delta = 1 \mu\text{g m}^{-3}$ para Bce; $\Delta = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ para T e $\Delta = 5 \%$ para UR.

3.10 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA

O estudo em questão foi analisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), sob o número 54301415.8.0000.5547. Todos os indivíduos convidados a participar da pesquisa obtiveram a explicação da finalidade do estudo, bem como de que forma a pesquisa ocorreria. Após a explicação prévia do estudo, aqueles que aceitaram participar da pesquisa receberam explicações sobre o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e ambos, entrevistador e entrevistado assinaram o termo, sendo que a primeira via, em papel, foi entregue ao entrevistado e a segunda via, em formato eletrônico, ficou com o entrevistador (Apêndice D).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

A Tabela 2 representa os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov, entre as médias diárias das variáveis meteorológicas de temperatura, umidade relativa e precipitação dos períodos das campanhas com as da série histórica.

Tabela 2 - Análise da normalidade climatológica durante as campanhas de verão e inverno, para P1 e P2, a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov ($p = 0,05$).

	Campanha de Verão			Campanha de Inverno		
	Temperatura (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)
P1	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	H ₁	H ₀
P2	H ₀	H ₀	H ₀	H ₀	H ₁	H ₀

Os resultados mostraram que para a campanha de verão, todas as variáveis analisadas apresentaram comportamento semelhante em ambos os sítios amostrais, ou seja, a campanha de verão se manteve dentro da normalidade climatológica para a região, caracterizando o período como sendo climatologicamente típico.

Para a campanha de inverno, as variáveis temperatura e precipitação também se mantiveram dentro da normalidade climatológica, para ambos os sítios amostrais. Apenas a umidade relativa não apresentou comportamento semelhante no período quando comparado com a climatologia. A umidade relativa para o período foi de 73 e 71 % para P1 e P2, respectivamente, enquanto que para a climatologia foi de 62%.

A Tabela 3 apresenta a análise descritiva das variáveis meteorológicas de temperatura, umidade relativa e precipitação durante as campanhas de verão e inverno para o P1. Para a campanha de verão, os valores médios de temperatura, umidade relativa e precipitação foram de 25 °C, 73 % e 1,8 mm, respectivamente.

Tabela 3 - Análise descritiva das variáveis meteorológicas durante as campanhas de verão e inverno do P1.

	Campanha de Verão			Campanha de Inverno		
	Temperatura (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)
Média	25,0	73	1,8	18,6	73	4,0
Mediana	25,8	72	0,0	18,6	73	0,0
DP	1,9	9	5,5	2,8	11	11,3

Para a campanha de inverno, o valor médio da temperatura ficou em 19 °C, ou seja, uma diferença de 7 °C entre as campanhas. Com relação ao número de ocorrências de precipitação para o P1, foram registrados 5 dias no verão e 6 dias no inverno, distribuídos ao longo das campanhas. A umidade relativa se manteve semelhante em ambas as campanhas, não havendo diferença significativa dessa variável.

A Figura 12 mostra o valor médio diário da temperatura e umidade relativa. Durante a campanha de verão a variação de temperatura (22 a 25 °C) e da UR (59 a 91 %) foi menor que na campanha de inverno, onde a variação foi de 12 a 23 °C e de 51 a 99 %, respectivamente. Este resultado também pode ser observado a partir do valor de desvio padrão apresentado na Tabela 3, sendo que para a campanha de verão os desvios foram menores. Com relação aos dados de direção do vento para P1, constatou-se que a predominância foi de ventos de sudeste em ambas as campanhas, com médias de 2,71 m s⁻¹ no verão e 3,11 m s⁻¹ no inverno.

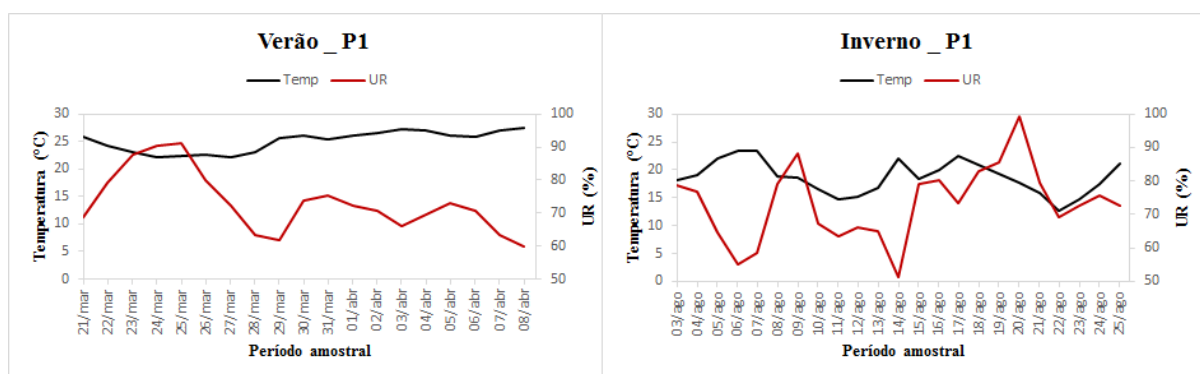


Figura 12: Média diária da temperatura e umidade relativa para as campanhas de verão e inverno para o P1.

A Tabela 4 descreve as variáveis meteorológicas durante as campanhas de verão e inverno para o P2. Para a campanha de verão, os valores médios de temperatura, UR e precipitação foram de 24 °C, 71 % e 0,07 mm, respectivamente.

Tabela 4 - Análise descritiva das variáveis meteorológicas durante as campanhas de verão e inverno do P2.

	Campanha de Verão			Campanha de Inverno		
	Temperatura (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)
Média	24,3	71,7	0,07	18,1	71,0	0,2
Mediana	24,6	69,4	0,00	18,3	70,4	0,0
DP	1,9	9,5	0,19	2,9	11,5	0,4

Para a campanha de inverno, o valor médio da temperatura ficou em 18 °C, e apresentou uma diferença de 6 °C entre as campanhas. Com relação ao número de ocorrências de precipitação para o P2, foram registrados 6 dias no verão e 6 dias no inverno, distribuídos ao longo das campanhas. Com relação a UR, esta, se manteve semelhante em ambas as campanhas, não havendo diferença significativa dessa variável.

A Figura 13 mostra o valor médio diário da temperatura e UR para o P2. Nota-se que a Figura 13 segue uma tendência muito parecida com a Figura 12, isso ocorre pois trata-se da média diária para um mesmo período de estudo e a pequena diferença entre os valores ocorre devido à localização das estações serem em locais distintos. No entanto, optou-se em trabalhar com ambas as estações para uma análise mais detalhada do período amostral.

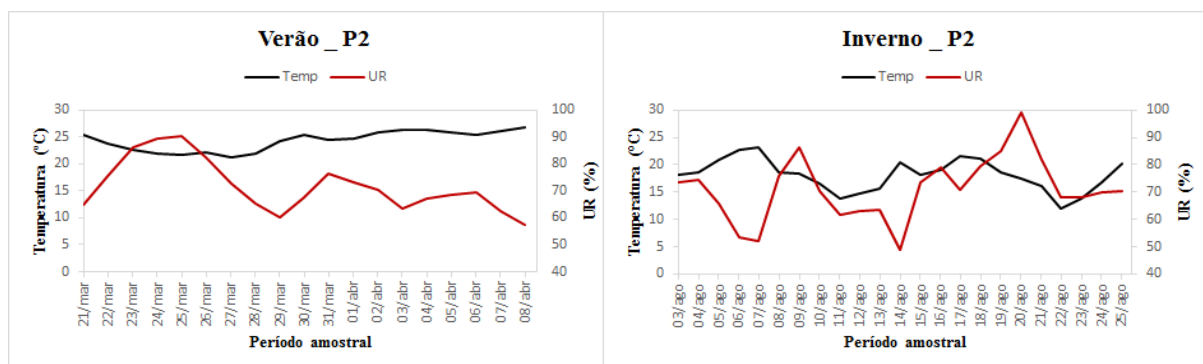


Figura 13: Média diária de temperatura e umidade relativa para as campanhas de verão e inverno para o P2.

Durante a campanha de verão do P2, a variação de temperatura (21 a 26 °C) e UR (57 a 90 %) foi menor que na campanha de inverno, onde a variação foi de 12 a 22 °C e de 48 a 99 %, respectivamente. Este resultado também pode ser observado a partir do valor de desvio padrão apresentado na Tabela 4, pois para a campanha de verão os desvios foram menores que no inverno. Com relação aos dados de direção do vento constatou-se a predominância de ventos de sudeste, com médias de $2,02 \text{ m s}^{-1}$ no verão e $2,45 \text{ m s}^{-1}$ no inverno.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO MATERIAL PARTICULADO

As Figuras 14 a 16 apresentam uma visão geral das concentrações em massa do MP, dos ambientes internos e externos em ambos os sítios amostrais, durante o período de

estudo. Analisando a Figura 13 é possível observar que as concentrações externas de $MP_{2,5}$ foram maiores na campanha de inverno, quando comparadas com a de verão, principalmente para o P2, sendo que a variação entre máximos e mínimos também foi maior. As concentrações médias de $MP_{2,5}$, no verão foram de 7,1 e 4,8 $\mu\text{g m}^{-3}$, aumentando no inverno para 10,6 e 11 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente nos pontos P1 e P2.

Por outro lado, as concentrações de BCe não variaram significativamente entre as campanhas, nem entre os sítios. As variações entre os máximos e mínimos não foram elevadas, e as concentrações médias no verão foram de 1,3 e 1,7 $\mu\text{g m}^{-3}$ em P1 e P2, respectivamente, aumentando ligeiramente no inverno para 1,6 $\mu\text{g m}^{-3}$ em P1 e 2,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ em P2.

As condições meteorológicas distintas entre os períodos, principalmente da temperatura, UR e intensidade do vento justificam em grande parte as diferenças nas concentrações de $MP_{2,5}$. O inverno, na região, tipicamente apresenta maior estabilidade da atmosfera e condições desfavoráveis a dispersão dos poluentes, além de menor eventos e volume de precipitação, propiciando assim um maior acúmulo de poluentes na atmosfera. No entanto, o BC por ser um particulado insolúvel em água e presente na fração mais fina do particulado, apresenta remoção menos sensível a essas condições (RAES et al., 2000). Beal et al. (2017), por exemplo verificou esse mesmo comportamento na análise das concentrações de $MP_{2,5}$ e BCe em Londrina e Maringá. A concentração média de $MP_{2,5}$ obtida por Beal et al. (2017) para o verão e para o mesmo local (P1), foi de 4,4 $\mu\text{g m}^{-3}$, próxima a encontrada neste estudo para o verão.

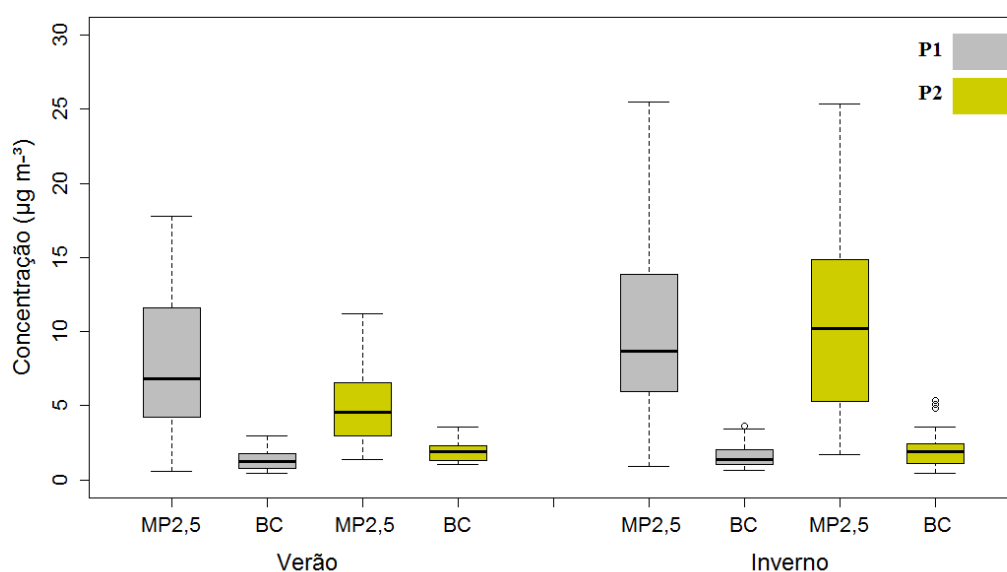


Figura 14: Concentrações em massa de $MP_{2,5}$ e BCe, do ambiente externo obtidas durante as campanhas de verão e inverno, para P1 e P2.

Em estudo realizado por Freitas e Solci (2009), na região central de Londrina para o período de março a abril de 2007 foi encontrada concentração média de $MP_{2,5}$ de $17,5 \mu\text{g m}^{-3}$. Apesar das amostragens terem sido feitas em anos distintos é esperado que regiões centrais apresentem concentrações mais elevadas que regiões periféricas.

A Figura 15 mostra as concentrações em massa de partículas obtidas nas campanhas de verão e inverno em ambiente interno no sítio P1. É possível perceber uma tendência de aumento das concentrações de MP a medida que se aumenta o diâmetro das partículas, tanto na campanha de verão quanto na de inverno, ou seja, quanto maior o diâmetro da partícula maior a concentração encontrada. Isso ocorre, pois, partículas maiores apresentam um maior peso.

Pode-se perceber ainda que as concentrações no inverno aumentaram em todos os cinco intervalos sendo que para o verão as médias encontradas foram de aproximadamente 5, 8, 13, 25 e $30 \mu\text{g m}^{-3}$ e para o inverno foram de 8, 11, 17, 36 e $43 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_1 , $MP_{2,5}$, MP_4 , MP_{10} e PTS, respectivamente. A variabilidade das concentrações também foi maior no inverno, principalmente para MP_{10} e PTS, quando comparada com o verão, indicando uma influência das condições externas no ambiente interno.

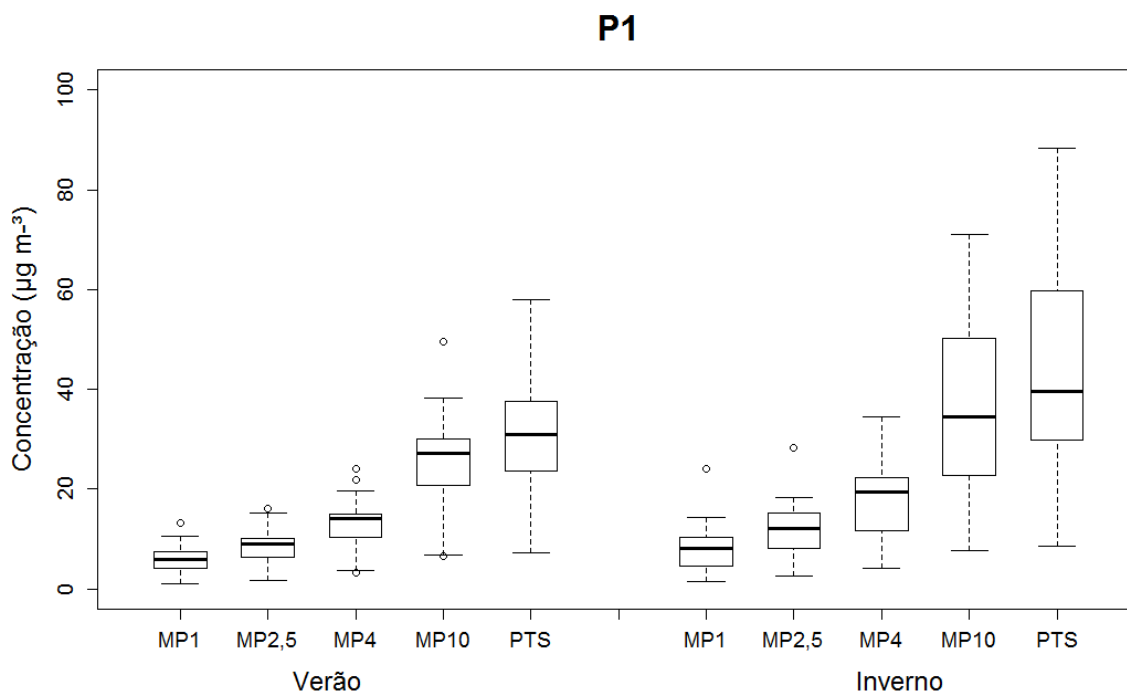


Figura 15: Concentrações de partículas dos cinco intervalos de massa, do ambiente interno obtidas durante as campanhas de verão e inverno, para P1.

A Figura 16 mostra as concentrações em massa de partículas obtidas nas campanhas de verão e inverno em ambiente interno no sítio P2. Assim como na Figura 14 é possível

perceber uma tendência de aumento das concentrações de MP a medida que se aumenta o diâmetro das partículas, tanto na campanha de verão quanto na de inverno.

Para o P2, as concentrações no inverno também aumentaram em todos os cinco intervalos, sendo que para o verão as médias encontradas foram de aproximadamente 5, 8, 11, 21 e 26 $\mu\text{g m}^{-3}$ e para o inverno foram de 9, 13, 18, 33 e 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ para MP₁, MP_{2,5}, MP₄, MP₁₀ e PTS, respectivamente. Não houve grande variabilidade das concentrações para o P2 nas campanhas de verão e inverno. De modo geral as concentrações entre os sítios (P1 e P2) ficaram muito próximas tanto na campanha de verão quanto na de inverno.

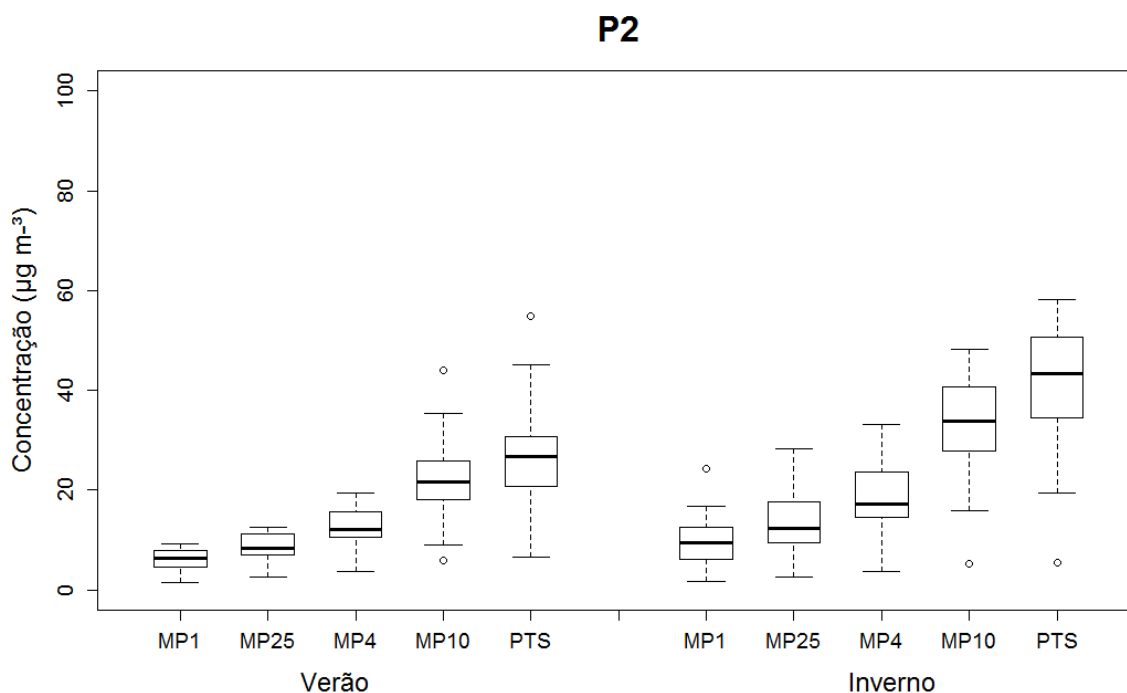


Figura 16: Concentrações de partículas dos cinco intervalos de massa, do ambiente interno obtidas durante as campanhas de verão e inverno, para P2.

Estudos que abrangem a concentração do número de partículas têm ganhado destaque nos últimos anos. Em um estudo de Kumar et al. (2008) partículas com tamanho inferior a $0,3 \mu\text{m}$ representaram 99% do número total de partículas presentes em um ambiente, sendo que aquelas de menor tamanho apresentam um maior efeito na saúde humana (MUELLER et al., 2016).

A Tabela 5 mostra as concentrações em número de partículas obtidas nas campanhas de verão e inverno em ambiente interno, para P1 e P2. É possível perceber que quanto menor o diâmetro da partícula maior foi a concentração em número encontrada em ambos os sítios. Neste estudo foram analisadas partículas com diâmetro superior a $0,3 \mu\text{m}$, sendo este o menor tamanho detectado pelo equipamento.

Em termos médios as concentrações no inverno foram superiores as concentrações no verão, além disso as concentrações médias do P1 foram maiores que P2 em quase todos os tamanhos, exceto no verão para $nP_{0,5}$. No entanto, as concentrações médias entre os pontos se mantiveram muito próximas.

Tabela 5 - Análise estatística descritiva do número de partículas (partículas L^{-1}) para as campanhas de verão e inverno para os sítios P1 e P2.

		Verão				Inverno			
		Mínima	Média	Máxima	Mediana	Mínima	Média	Máxima	Mediana
P1	nP_{0,3}	5807	23599	41087	23739	8454	52378	148925	56299
	nP_{0,5}	516	2050	3333	2152	945	4189	11010	4309
	nP₁	125	373	584	412	155	641	1060	687
	nP_{2,5}	45	117	180	124	43	182	353	170
P2	nP_{0,3}	7005	24885	50550	28219	7057	48297	108827	50168
	nP_{0,5}	703	1980	3877	2077	616	3514	6930	3252
	nP₁	96	294	690	276	96	482	780	489
	nP_{2,5}	24	74	204	65	17	116	188	125

4.3 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS

No total ocorreram 410 entrevistas, das quais 241 foram válidas, ou seja, 59% dos entrevistados participaram da pesquisa. Dos entrevistados, 35% apresentavam sintomas respiratórios crônicos e 6% não atenderam aos critérios estabelecidos e por isso, foram excluídos. No sítio amostral 1 (P1), dos 196 indivíduos entrevistados, 120 participaram da pesquisa e no sítio amostral 2 (P2) dos 214 entrevistados, 121 participaram da pesquisa. É importante ressaltar que a população amostral foco deste estudo são adultos saudáveis do ponto de vista do sistema respiratório e que as entrevistas foram realizadas no verão e repetidas com os mesmos indivíduos no inverno.

Pelo fato do número de entrevistas válidas ter sido 34% menor do que o número proposto no cálculo amostral, a amostra será tratada como amostra de conveniência. Vale lembrar que era esperado que, em média 15% da população entrevistada apresentasse algum sintoma respiratório crônico, no entanto, 35% dos entrevistados apresentaram os sintomas e

não puderam participar da pesquisa (TEODORO; ANDRADE, 2000; RODRIGUEZ-VILLAMIZAR et al., 2012).

Dentre as doenças respiratórias crônicas, a rinite é a de maior prevalência e atinge cerca de 20 a 25% da população em geral. O Brasil apresenta uma das maiores taxas mundiais de prevalência de asma e rinite, com valores entre 10 e 20% e entre 25,7 e 29,6% respectivamente, para crianças e adolescentes escolares (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

O percentual de prevalência entre doenças respiratórias crônicas pode variar de acordo com a faixa etária e a região em que o estudo foi realizado, sendo influenciado também por outros fatores como etnia, características ambientais locais e condições socioeconômicas (CAMPOS, 2004). Considerando que entre as faixas etárias, as crianças estão entre as mais suscetíveis a apresentar sintomas respiratórias e considerando os percentuais em torno de 30% para a rinite, sendo esta a doença de maior prevalência, pode-se dizer que o valor encontrado neste estudo de 35% foi relativamente alto para a faixa etária trabalhada.

No Brasil existem poucos estudos sobre a prevalência de sintomáticos respiratórios. Um estudo realizado no Distrito Federal estimou a prevalência de sintomáticos respiratórios para regiões administrativas e encontrou um percentual de 5,7% (IC, 2,4-9,0) para Estrutural e Varjão e 4,8% (IC, 1,6-7,9) para Itapoã (FREITAS et al., 2011). Outros estudos para Vitória (Espírito Santo) e Belém (Pará) encontraram um percentual de 4 % e 10 % de sintomáticos, respectivamente (MOREIRA et al., 2010; RODRIGUES; CARDOSO, 2010). Os valores encontrados na literatura foram significativamente menores que o encontrado neste estudo.

A Tabela 6 mostra o resultado das campanhas de verão e inverno em ambos os locais para o total de entrevistados por sexo e faixa etária. O número de entrevistados pertencentes ao sexo masculino foi maior em ambos os sítios e campanhas. Com relação a faixa etária, a maior incidência se deu entre indivíduos jovens/adultos, em ambos os sítios, sendo que a faixa de até 29 anos foi a mais representativa.

A distribuição por faixa etária não se manteve homogênea para ambos os sítios, pelo fato da última faixa (acima de 50 anos) ter sido menos representativa. Com relação as outras faixas, pode-se notar que o P1 se manteve mais homogêneo que o P2, apresentando uma distribuição em torno dos 55%.

Tabela 6 - Distribuição em número (n) e percentual (%) de entrevistas por sexo e faixa etária nos dois sítios amostrais (P1 e P2) durante as campanhas (verão e inverno).

	P1 Verão	P2 Verão	P1 Inverno	P2 Inverno
Sexo	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Feminino	55 (45,8)	57 (47,1)	52 (45,2)	41 (45,6)
Masculino	65 (54,2)	64 (52,9)	63 (54,8)	49 (54,4)
n° de entrevistados	120	121	115	90
TOTAL	241		205	
Faixa etária	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
até 29 anos	58 (48,3)	78 (64,5)	56 (48,7)	59 (65,6)
30 a 50 anos	51(42,5)	37 (30,6)	51 (44,3)	28 (31,1)
acima de 50 anos	11 (9,2)	6 (4,9)	8 (6,9)	3 (3,3)

Durante a campanha de inverno, 36 indivíduos não puderam ser entrevistados novamente, e por isso o número de entrevistas diminuiu para 205. A maior perda ocorreu no P2, sendo que a faixa de até 29 anos foi a mais afetada. No total foram realizadas 446 entrevistas válidas durante as campanhas de verão e inverno, com uma redução de 14% no número de entrevistados no inverno pois, buscou-se entrevistar as mesmas pessoas durante ambas as campanhas. Porém algumas não foram encontradas porque haviam se desligado das instituições. O P2 apresentou mais perdas pelo fato de ser uma instituição particular, e por isso as chances de desistência ou demissões é maior que em uma instituição pública (P1).

Através dos questionários foi possível avaliar a prevalência dos sintomas de tosse e expectoração durante as campanhas de verão e inverno, para P1 e P2, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Número (n) e percentual (%) dos sintomas apresentados durante as campanhas, nos dois sítios amostrais (P1 e P2).

	P1		P2	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Sintomas	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Total de Tosse	9 (7,5%)	20 (17,4%)	7 (5,8%)	6 (6,7%)
Total de Expectorção	2 (1,7%)	13 (11,3%)	2 (1,7%)	6 (6,7%)
Tosse + Expectorção	11 (9,2%)	33 (28,7%)	9 (7,5%)	12 (13,3%)

O P1 apresentou um percentual de respostas positivas maior que o P2, tanto no verão quanto no inverno. A prevalência dos sintomas apresentados no P1 para verão e inverno foi de 9,2 % e 28,7 %, respectivamente. Já para o P2, a prevalência dos sintomas foi de 7,5 % no verão e de 13,3 % no inverno.

Como visto anteriormente, as concentrações de P1 e P2 ficaram muito próximas, o que não se correlaciona com a diferença apresentada entre as campanhas de inverno para a prevalência dos sintomas. O fato do P2 ter apresentado uma quantidade menor de indivíduos com sintomas pode ser explicado pelo número de entrevistas não realizadas.

Além disso, o tempo excedente ao mínimo estabelecido pode ter influenciado, sendo o tempo de exposição um fator relevante no aparecimento dos sintomas. Outro fator a ser considerado é que o P1 é caracterizado por um grupo maior de pessoas que residem em Londrina, já o P2 apresenta um número considerado de pessoas que moram em outras cidades, aproximadamente 42%.

4.4 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS - VERÃO

4.4.1 Ambiente Externo

As concentrações médias diárias de $MP_{2,5}$, para P1 e P2, obtidas pelos equipamentos instalados nos ambientes externos durante a campanha de verão, encontram-se na Figura 17. Pode-se notar que as concentrações médias diárias do P2, quando comparadas ao P1, se mostraram inferiores em praticamente todos os dias da campanha, sendo que isso pode ter ocorrido devido a quantidade de queimadas presenciada no P1 durante o período amostral. Além disso, a falta de dados em 8 dos 19 dias de amostragem comprometeu a análise desses dias.

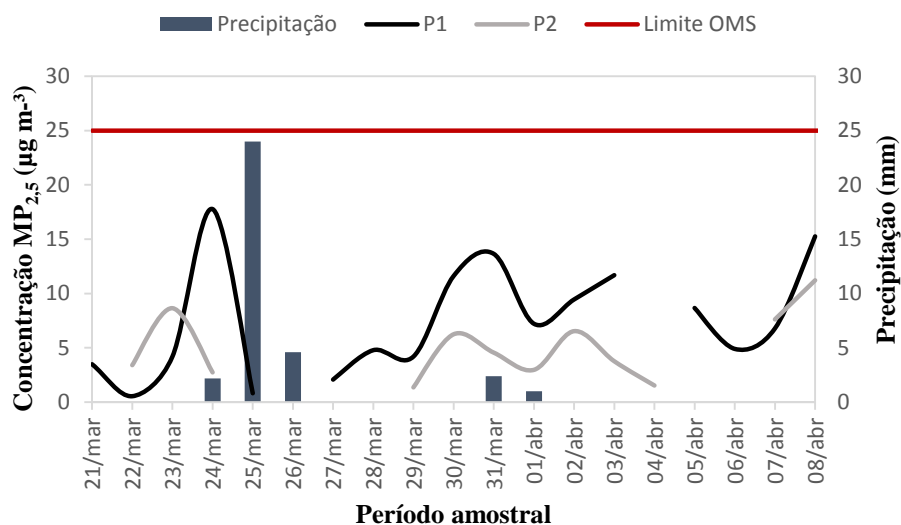


Figura 17: Concentração média diária em ambiente externo de $MP_{2,5}$ para P1 e P2 durante a campanha de verão.

A ausência das concentrações nos ambientes externos durante o período amostral, pode ser explicado em decorrência de dois fatores. O primeiro devido a ocorrência de chuva, e o segundo devido a defeitos apresentados em alguns filtros amostrados, resultando assim em filtros com concentrações negativas. Com relação aos filtros dos dias 21, 5 e 6, acredita-se que os valores negativos ocorreram devido a presença de falhas em sua superfície, não permitindo a amostragem homogênea e impedindo que o material particulado fosse aderido.

O valor negativo nos filtros dos dias 25 e 26 pode ser explicado devido a ocorrência de precipitação nesses dois dias, como mostra a Figura 17, ou seja, em dias chuvosos, o material particulado não consegue se manter em suspensão na atmosfera e por isso, as concentrações geralmente diminuem. Nos dias 27 e 28 as concentrações continuaram negativas mesmo sem ocorrência de precipitação. Isso pode ter ocorrido, pois mesmo sem chuva, a atmosfera permaneceu limpa devido as baixas atividades, potencialmente poluidoras no local, pois, trata-se de um final de semana onde o fluxo de veículos diminui.

A Figura 18 mostra a rosa dos ventos para a poluição externa de $MP_{2,5}$ em P1 durante a campanha de verão. A partir dessa figura, pode-se perceber que a direção predominante do vento é de sudeste, como já mencionado anteriormente, sendo que as maiores concentrações também ocorreram nesse sentido. As menores concentrações são para ventos de leste e sudoeste.

Os ventos de sudeste abrangeram uma área que apresentou focos de queimadas durante quase todo o período amostrado, além disso, esses ventos podem ter trazido resíduos de construção presente no P1.

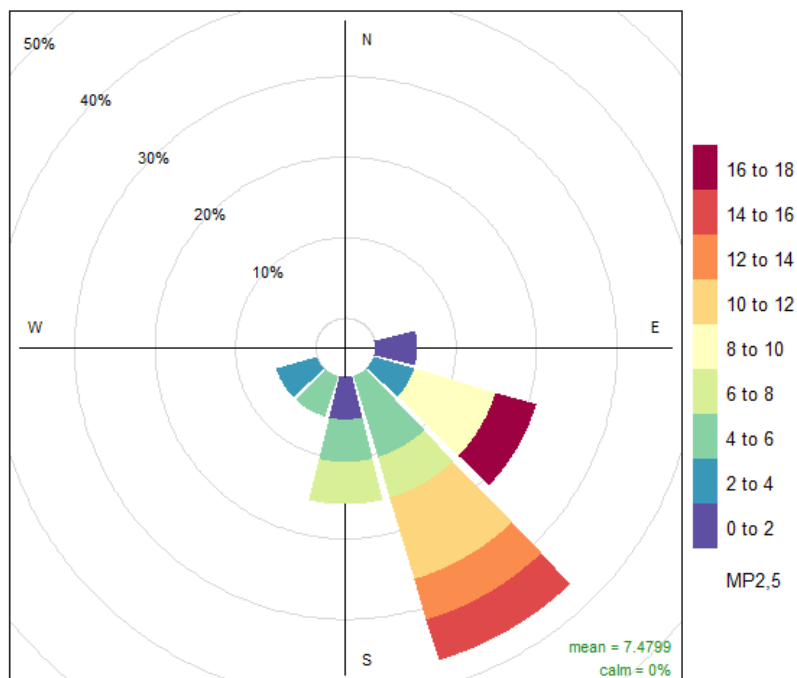


Figura 18: Rosa dos ventos para a concentração de MP_{2,5} em P1 durante a campanha de verão.

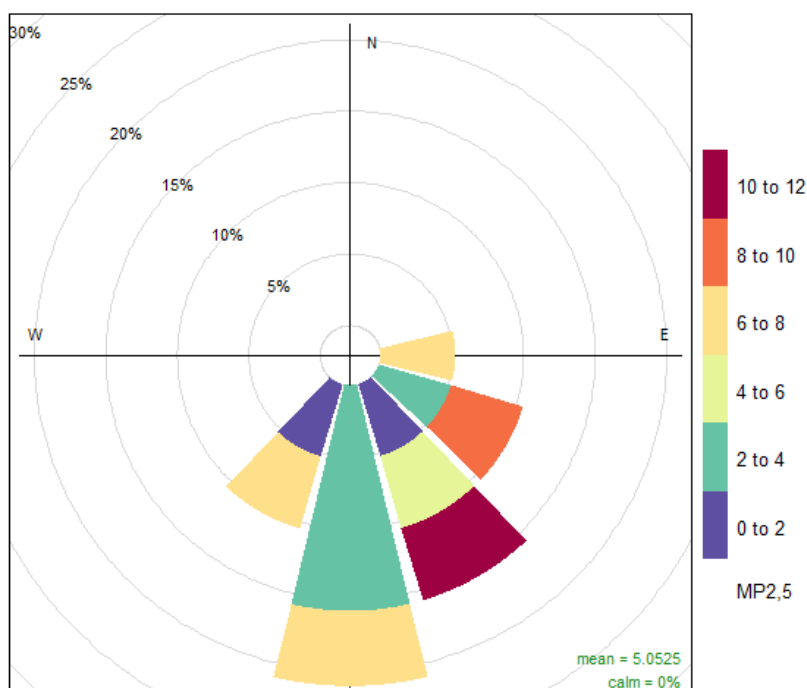


Figura 19: Rosa dos ventos para a concentração de MP_{2,5} em P2 durante a campanha de verão.

A Figura 19 representa a rosa dos ventos para a poluição externa em P2 durante a campanha de verão. A partir dessa figura, pode-se perceber que a direção predominante do

vento é de sul-sudeste, sendo as menores concentrações são para ventos de sul e sudoeste. As maiores concentrações de $MP_{2,5}$ ocorreram de sudeste, sendo que os ventos de sudeste abrangem a área da rodovia, PR-445 que possui intenso fluxo de veículos leves e pesados.

A Figura 20 mostra a concentração de BCe para os dois sítios de amostragem, durante a campanha de verão, sendo que, as concentrações foram encontradas a partir da análise de refletância feita nos filtros de $MP_{2,5}$. Nota-se que, apesar da quantidade de dados faltantes, as concentrações permaneceram próximas em ambos os sítios, com valor médio em torno de $1,3 \mu\text{g m}^{-3}$ e $1,9 \mu\text{g m}^{-3}$ para P1 e P2, respectivamente. Apesar de próxima as concentrações, o P2 apresentou valor médio levemente maior que P1, provavelmente devido à proximidade do local (P2) com a rodovia PR-445, que apresenta grande fluxo de veículos.

A concentração média de BCe obtida por Beal et al. (2017), para o mesmo local (P1) durante o verão de 2013, foi de $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$, relativamente próxima a encontrada neste estudo, para o verão. Em Maringá, a concentração de BCe encontrada foi $1,6 \mu\text{g m}^{-3}$ para o verão de 2014, valor relativamente próximo ao encontrado em P2, para o verão.

Devido principalmente ao intenso fluxo veicular, ocasionando assim, em um maior tempo de congestionamento e conseqüentemente uma maior emissão de poluentes, principalmente do BCe, é esperado que cidades de médio porte, como Londrina e Maringá apresentem menores concentrações de BCe quando comparadas as cidades de grande porte, como São Paulo, por exemplo (CASTANHO; ARTAXO, 2001; ALMEIDA et al., 2014).

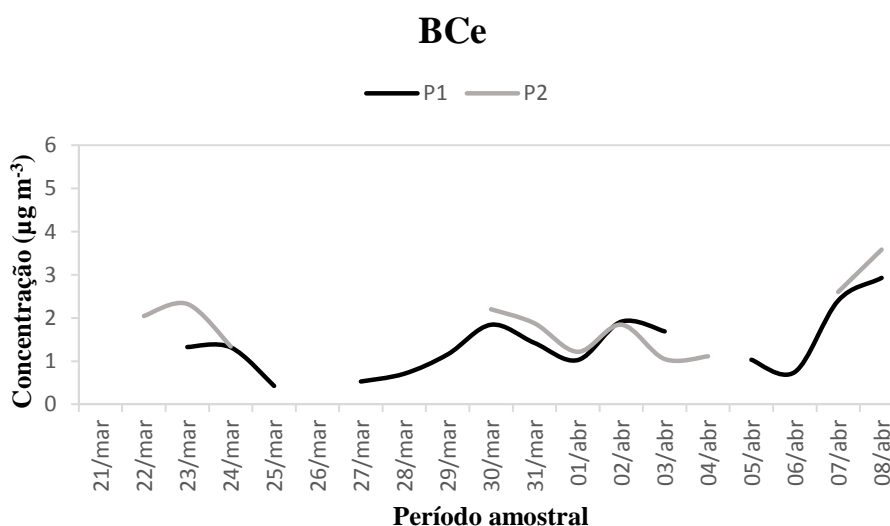


Figura 20: Concentração de BCe para P1 e P2 durante a campanha de verão.

A Figura 21 mostra a contribuição em massa de BCe no $MP_{2,5}$ para P1 (superior) e P2 (inferior), durante a campanha de verão. De modo geral pode-se observar que, para os

dois sítios de amostragem, a contribuição de BCe é maior para P2, variando de 26 % a 72 %, enquanto em P1 variou de 7 % a 52 % da massa de MP_{2,5}.

Os dias que apresentaram um maior percentual de BCe em relação ao MP_{2,5} foram os dias 22/03 e 04/08 para P2 e 25/03 para P1. Infelizmente devido à falta de dados de P2 não há como relacionar as altas concentrações com nenhum fator externo, porém para P1, a maior contribuição do dia 25/08 pode ser explicada pela ocorrência de chuva neste dia. Em dias chuvosos é comum o decréscimo das concentrações, no entanto, as concentrações de BCe podem se sobressair pelo seu pequeno tamanho e por sofrer menos com a deposição úmida (RAES et al., 2000).

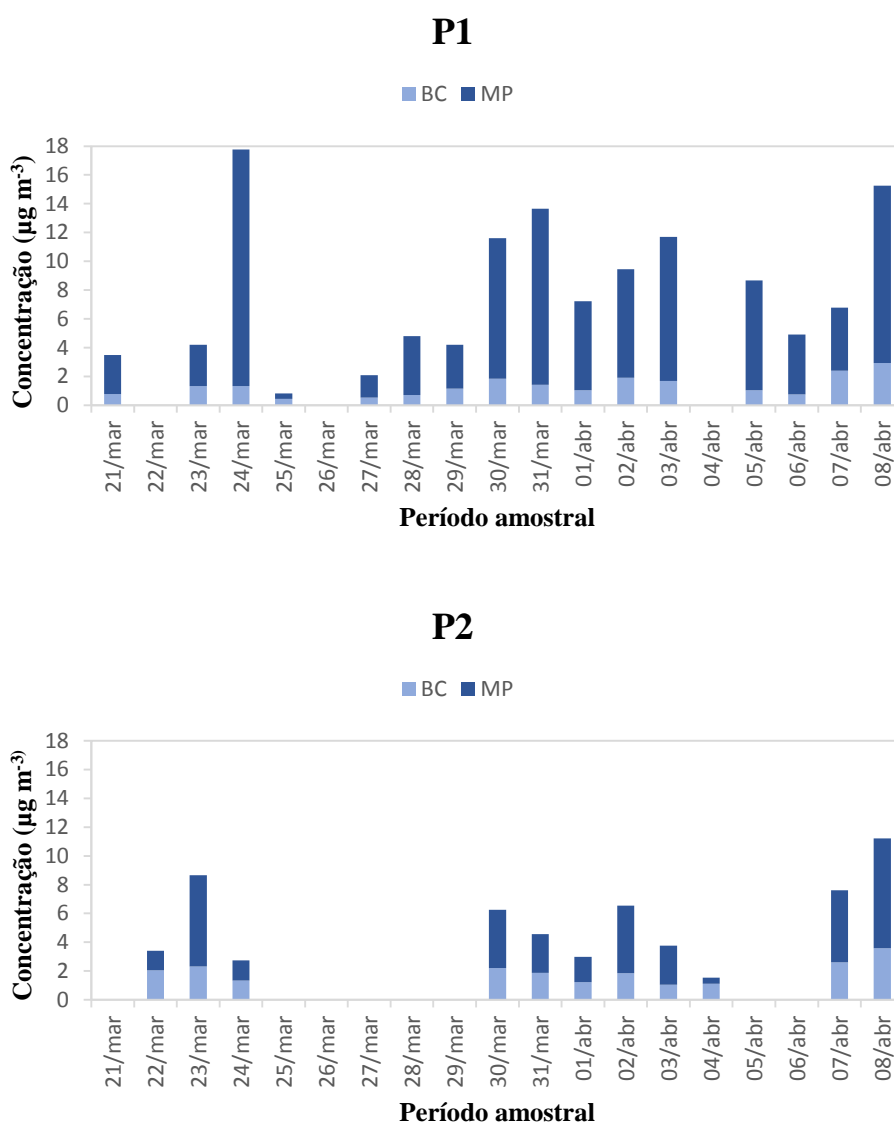


Figura 21: Concentração diária de MP_{2,5} e BCe para P1 (superior) e P2 (inferior) durante a campanha de verão.

4.4.2 Ambiente Interno

Segundo Madureira et al. (2015) o tempo despendido em locais fechados é maior que em locais abertos, por isso, estudos relacionados com a qualidade do ar interno tem crescido na última década. A qualidade do ar interno está associada as características do entorno, ao clima, a cultura, ao tipo de construção da residência e principalmente ao tipo de atividade interna.

As Figuras 22 e 23 mostram as concentrações médias diárias para P1 em $\mu\text{g m}^{-3}$ e em número de partículas L^{-1} , respectivamente, lembrando que $\text{nP}_{0,3}$ denota o número de partículas no intervalo de $0,3 \mu\text{m}$ à aproximadamente $15 \mu\text{m}$ de tamanho, $\text{nP}_{0,5}$ o número de partículas no intervalo de $0,5 \mu\text{m}$ à aproximadamente $15 \mu\text{m}$ de tamanho, e assim sucessivamente. Durante todo o período amostral não houve ultrapassagem dos limites estabelecidos pela OMS para MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$.

A partir da Figura 22 é possível perceber a relação entre os cinco intervalos de massa, sendo que quanto maior o diâmetro das partículas maior a concentração em massa encontrada. O MP_1 apresentou as menores concentrações e o PTS as maiores. O único período que apresentou uma queda significativa nos valores foi nos dias 25, 26 e 27 devido ao feriado prolongado juntamente com o final de semana. No decorrer dos outros dias as concentrações tenderam a aumentar.

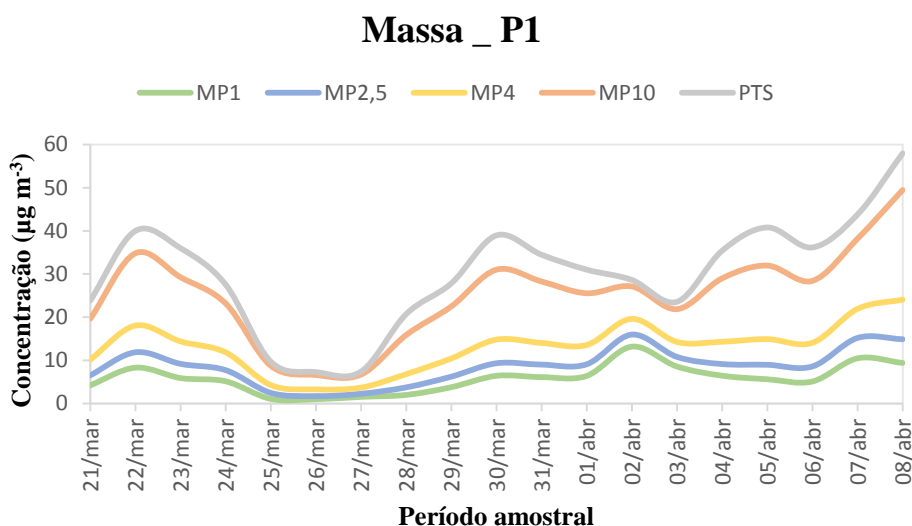


Figura 22: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P1.

A Figura 23 mostra o número de partículas L^{-1} , porém devido a variabilidade do número, está sendo representada em uma escala logarítmica na base 10. Pode-se perceber que o equipamento permaneceu amostrando durante duas semanas, tempo suficiente para avaliar o comportamento das partículas. Nota-se ainda que, aquelas de menor diâmetro tendem a apresentar as maiores concentrações, sendo o $nP_{0,3}$, o que apresentou as maiores concentrações e o $nP_{2,5}$ as menores.

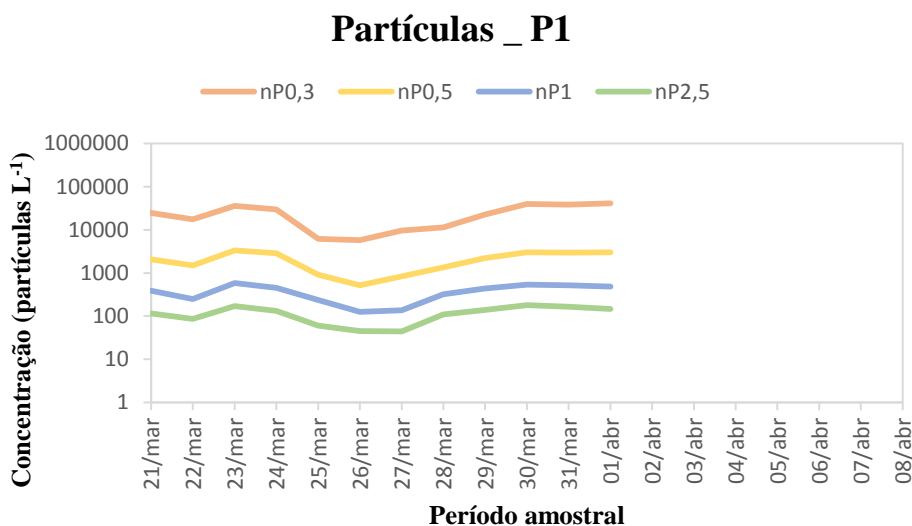


Figura 23: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P1.

Com relação as concentrações médias diárias em massa ($\mu g m^{-3}$) e em número de partículas (partículas L^{-1}) para o Ponto 2, segue o mesmo comportamento descrito anteriormente. As Figuras 24 e 25 mostraram um comportamento semelhante às figuras anteriores, ou seja, as concentrações diminuíram com o feriado e tenderam a aumentar durante a semana.

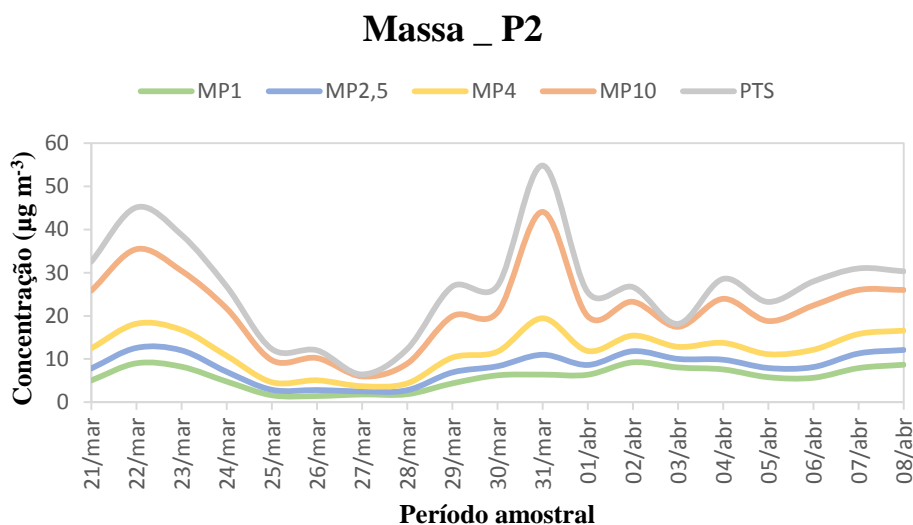


Figura 24: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P2.

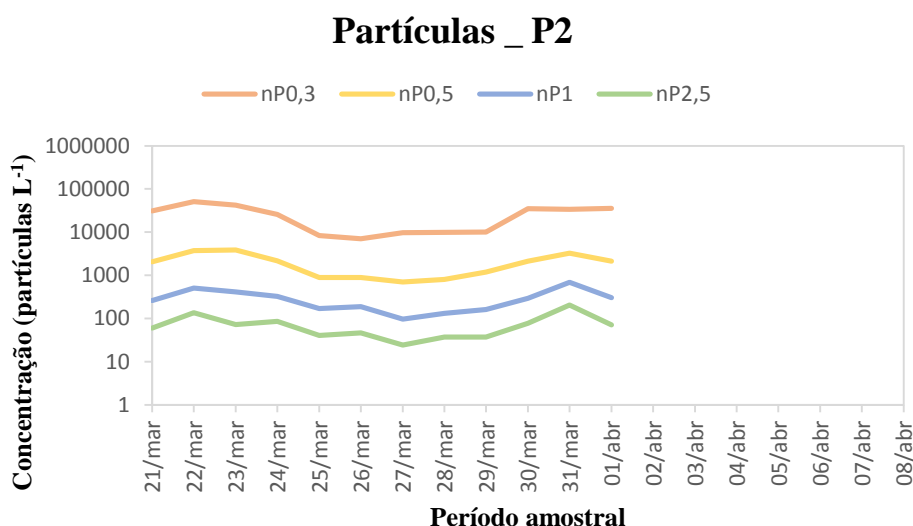


Figura 25: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P1.

Para uma melhor discussão acerca do comportamento encontrado nos dois sítios de amostragem, bem como a peculiaridade de cada local, foram selecionadas as concentrações de MP_{2,5} e MP₁₀ para a análise.

A Figura 26 compara as concentrações de MP_{2,5} para ambos os sítios. As variações nas concentrações internas estão diretamente ligadas aos dias da semana em que ocorreram as amostragens, ou seja, durante os dias 24, 25, 26 e 27 as concentrações em ambas as instituições foram as mais baixas em todo o período do estudo, e isto ocorreu devido ao feriado prolongado juntamente com a ocorrência de precipitação, levando a essa redução.

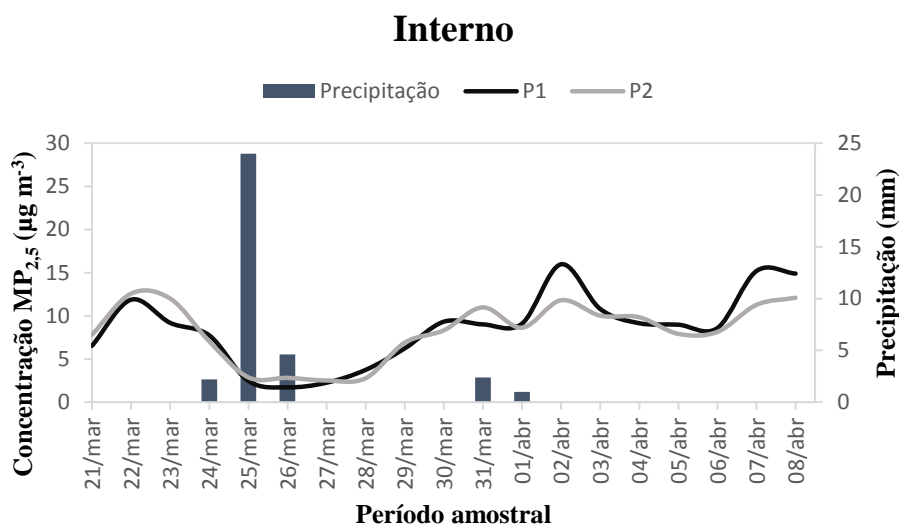


Figura 26: Concentração média diária em ambiente interno de MP_{2,5} para P1 e P2 durante a campanha de verão.

Porém as baixas concentrações não se repetiram no final de semana dos dias 02 e 03, sendo que isso pode ter ocorrido devido à não ocorrência de chuva durante o período final da amostragem, sugerindo uma atmosfera mais poluída e sem ocorrência de deposição úmida do material particulado. Após o dia 29 de março as concentrações tenderam a permanecer próximas no P2, no entanto o P1 apresentou dois picos de concentração, possivelmente devido a presença de focos de queimada em ambos os dias, como mostra a Figura 26.

O mesmo perfil aparece na Figura 27 para as concentrações internas de MP₁₀, ou seja, no feriado as concentrações diminuíram, pois, o fluxo de veículos também diminuiu. Após o dia 28 as concentrações se elevaram, e permaneceram próximas, exceto os picos nos dias 31, no P2 e 08, no P1. Nota-se também um aumento nas concentrações de material particulado nos últimos 3 dias de medidas realizadas no P1.

Os picos apresentados podem ser explicados em parte pelas anotações tomadas durante a amostragem. O pico do dia 31 no P2 ocorreu provavelmente devido a presença de queimadas próxima a região, sendo esta a única queimada presenciada nesta instituição durante toda a campanha.

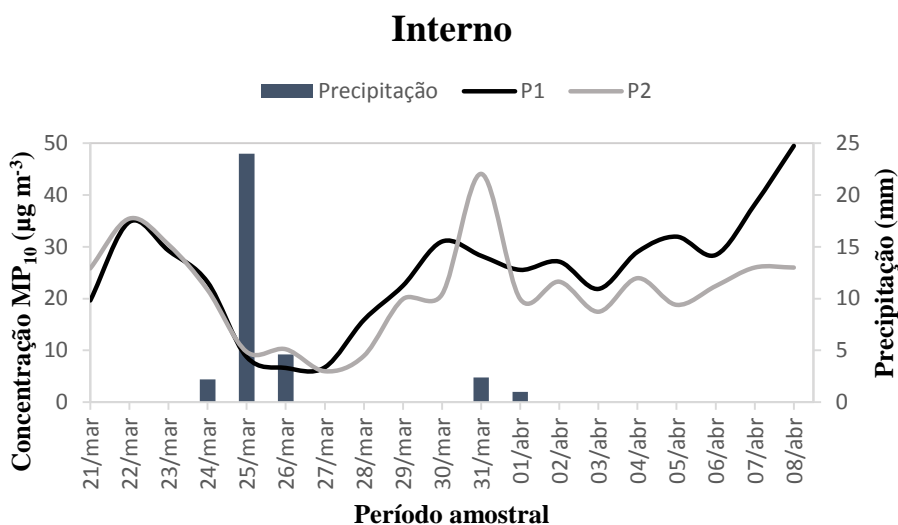


Figura 27: Concentração média diária em ambiente interno de MP_{10} para P1 e P2 durante a campanha de verão.

O aumento das concentrações no P1 nos últimos três dias de amostragem, pode ser explicado devido a uma intensa queimada ocorrida no dia 06, iniciando-se as 14 horas e permanecendo durante toda a tarde. Assim associado às condições climáticas desfavoráveis que limitam a dispersão do material particulado houve o favorecimento do aumento das concentrações internas nos últimos dias de amostragem (SEGALIN et al., 2016)

4.4.3 Interno x Externo

Nas Figuras 28 e 29 estão plotadas a relação entre as concentrações internas e externas de $MP_{2,5}$ para P1 e P2. Como os equipamentos utilizados entre ambientes não foram os mesmos, pode ocorrer a subestimação ou superestimação das concentrações, podendo levar a conclusões errôneas. Porém, o intuito não foi classificar o ambiente mais poluído, mas tentar mostrar a influência de um ambiente sobre o outro.

A Figura 28 não apresenta um acompanhamento entre as curvas internas e externas durante os cinco primeiros dias, porém a partir do dia 27/03 as concentrações internas e externas seguiram uma tendência parecida. Para esta campanha a média de $MP_{2,5}$ interno foi de $8,6 \mu\text{g m}^{-3}$ e externo de $7,5 \mu\text{g m}^{-3}$.

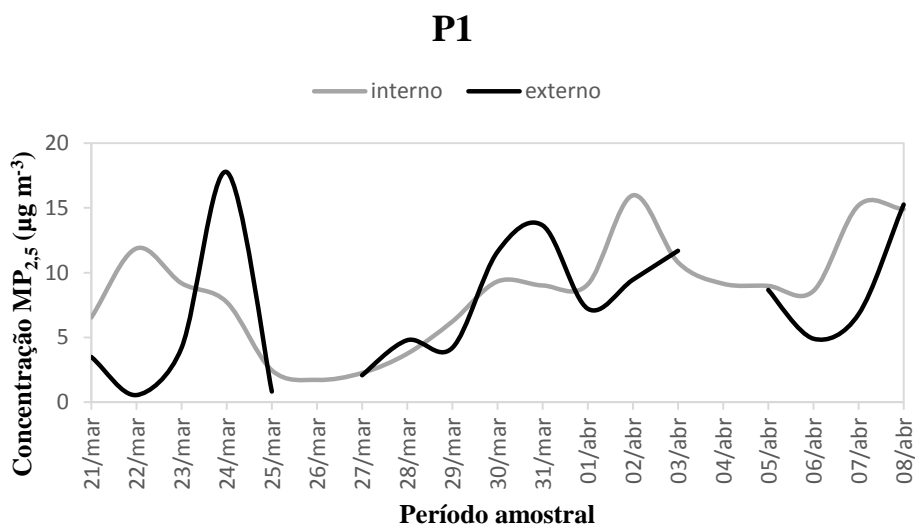


Figura 28: Concentração interna e externa do MP_{2,5} durante a campanha de verão para o P1.

A Figura 29 apresenta um comportamento interessante entre os equipamentos internos e externos. Apesar de algumas falhas nos dados externos pode-se perceber uma certa semelhança das concentrações mostrando uma influência significativa entre ambientes.

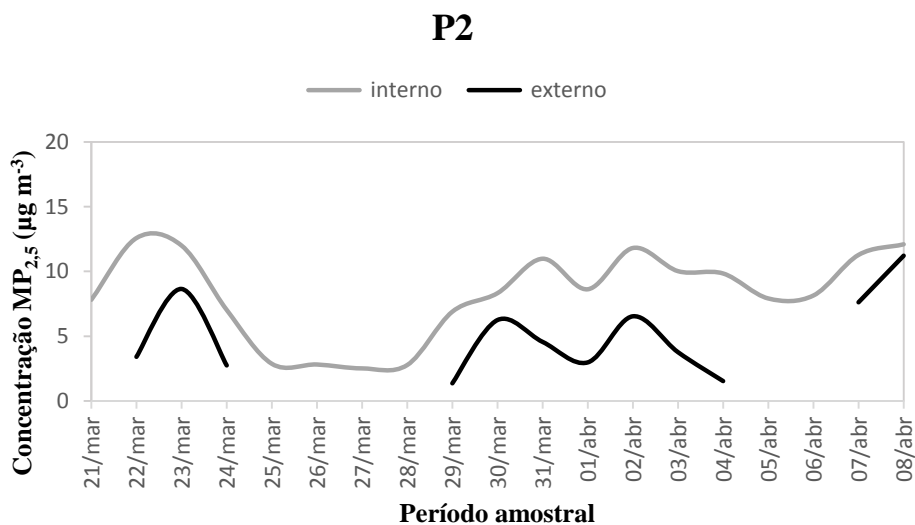


Figura 29: Concentração interna e externa do MP_{2,5} durante a campanha de verão para o P2.

4.5 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS - INVERNO

4.5.1 Ambiente Externo

A Figura 30 traz as médias diárias de $MP_{2,5}$ para o ambiente externo do P1 e P2. Com relação a campanha de inverno, a quantidade de dados falhos foi inferior ao apresentado na campanha de verão, no total três filtros foram descartados pois não obtiveram massa. A ausência de massa nos dias 21 e 22/08 no P1 pode ser explicada pela ocorrência de precipitação nos dias 19, 20 e 21/08, porém não foi possível saber o motivo que resultou na ausência do dado no dia 12/08 para P2.

A partir da Figura 30 é possível notar que as concentrações em P1 e P2 apresentaram um comportamento semelhante em praticamente todos os dias, exceto nos dias 11 e 24/08, isso pode ter ocorrido devido a características particulares do P2.

O aumento da concentração no dia 11/08 para o P2 pode ter ocorrido, pois entre os dias 10 e 11/08 o terreno em frente estava sendo nivelado e coberto por brita. Já a diminuição da concentração no dia 24/08 pode ter sido ocasionada pelo desligamento do equipamento entre os dias 23 e 24/08. Não foi possível precisar o tempo que o equipamento permaneceu desligado, por isso, o mais provável é que a diminuição da concentração de $MP_{2,5}$ no P2 tenha sido por esse motivo.

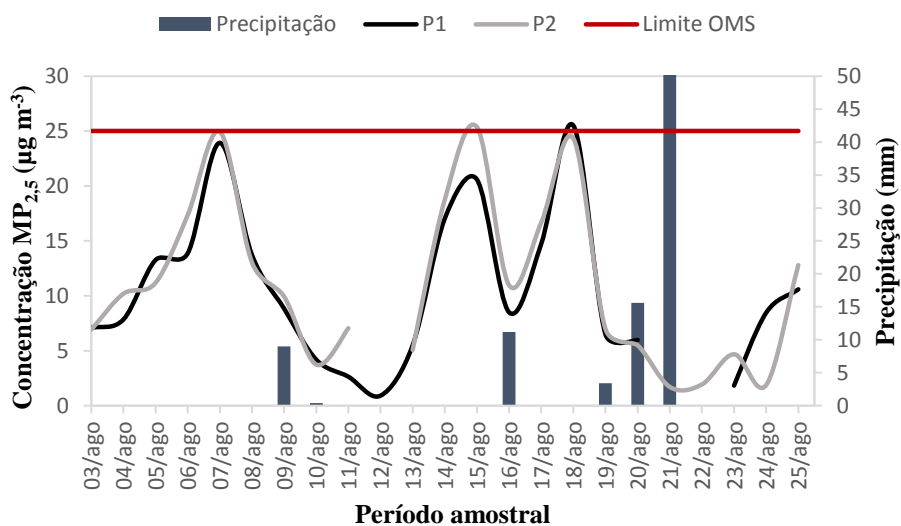


Figura 30: Concentração média diária em ambiente externo de $MP_{2,5}$ para P1 e P2 durante a campanha de inverno.

Durante a campanha de verão as concentrações não chegaram a ultrapassar os limites estabelecidos pela OMS, no entanto, na campanha de inverno ocorreram duas

ultrapassagens, a primeira no dia 14/08 em P2 e a segunda no dia 18/08 em P1. Acredita-se que o que pode ter contribuído para as altas concentrações, além da não ocorrência de chuva e condições atmosféricas estáveis nestes dias, foi a suspensão de poeira de cal, proveniente do estacionamento em frente ao P2 no dia 14/08 e também ao transporte de longa distância de partículas para a cidade no dia 18/08, aumentando significativamente as concentrações tanto em P1 como em P2.

O transporte de longa distância ocorrido durante o período de amostragem pode ser percebido visualmente e confirmado posteriormente a partir de imagens de satélite obtidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://sigma.cptec.inpe.br/acervohd/#>). Um estudo mais detalhado a cerca desse assunto será tratado em estudos posteriores. No dia 07/08 as concentrações de P1 e P2 ficaram próximas do limite estabelecido pela OMS, no entanto, o valor de $25 \mu\text{g m}^{-3}$ para 24 horas não foi ultrapassado.

A Figura 31 apresenta a rosa dos ventos para as concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ para P1 durante a campanha de inverno. A partir dessa figura, pode-se perceber que a direção de vento predominante para esta campanha também foi de sudeste, sendo que as maiores concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ foram para ventos de sudeste e sul.

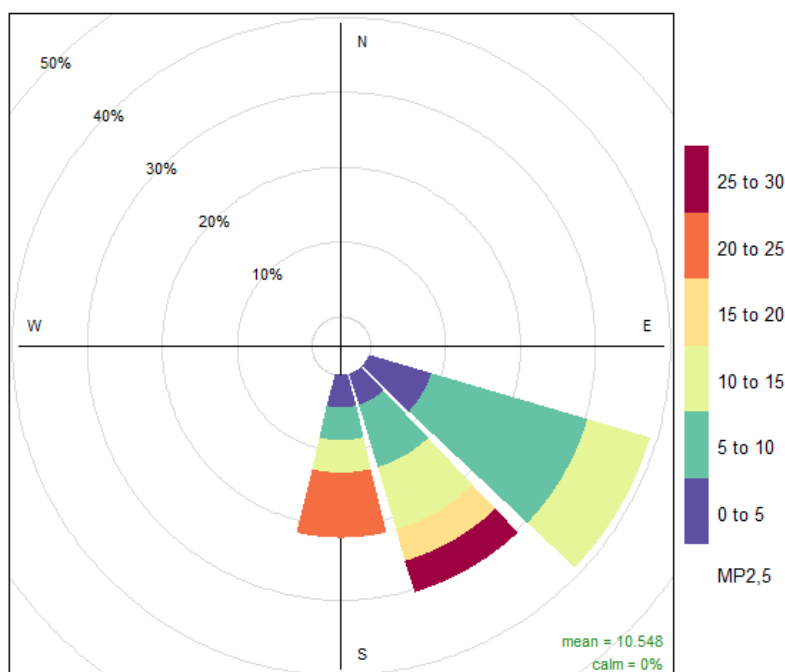


Figura 31: Rosa dos ventos para a concentração de $\text{MP}_{2,5}$ em P1 durante a campanha de inverno.

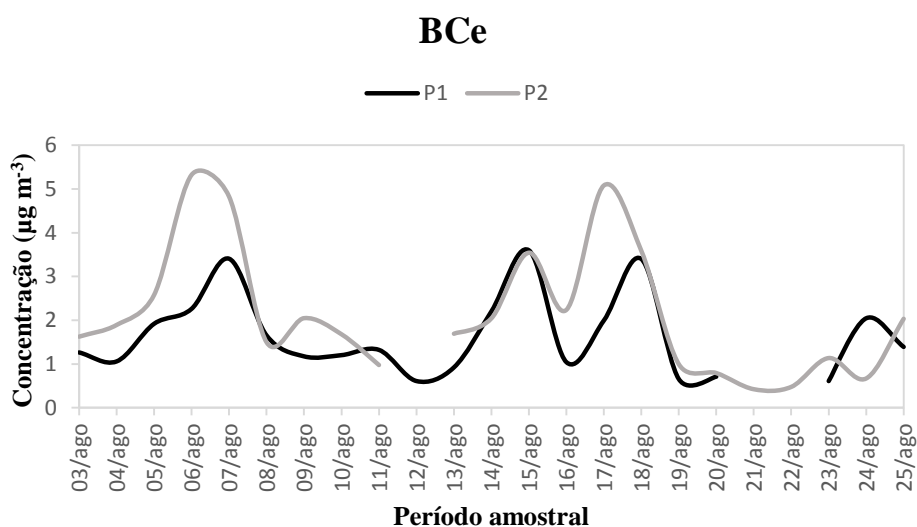


Figura 33: Concentração de BCe para P1 e P2 durante a campanha de inverno.

A Figura 34 mostra a contribuição em massa de BCe no $MP_{2,5}$ para P1 (superior) e P2 (inferior) durante a campanha de inverno. Apesar das concentrações médias em massa de BCe terem aumentado, para ambos os sítios amostrais no inverno, seu percentual de contribuição no $MP_{2,5}$ foi menor. De modo geral pode-se observar que, para os dois sítios de amostragem, a contribuição de BCe no inverno foi maior para P1, variando de 10% a 67%, enquanto em P2 variou de 11 % a 45 % da massa de $MP_{2,5}$.

Os dias que apresentaram um maior percentual de BCe foram os dias 12/08 e 10/08 para P1 e P2, respectivamente. A maior contribuição em ambos os locais pode ser explicada pela ocorrência de precipitação no dia 09/08, levando ao decréscimo das concentrações de $MP_{2,5}$, como já explicado anteriormente.

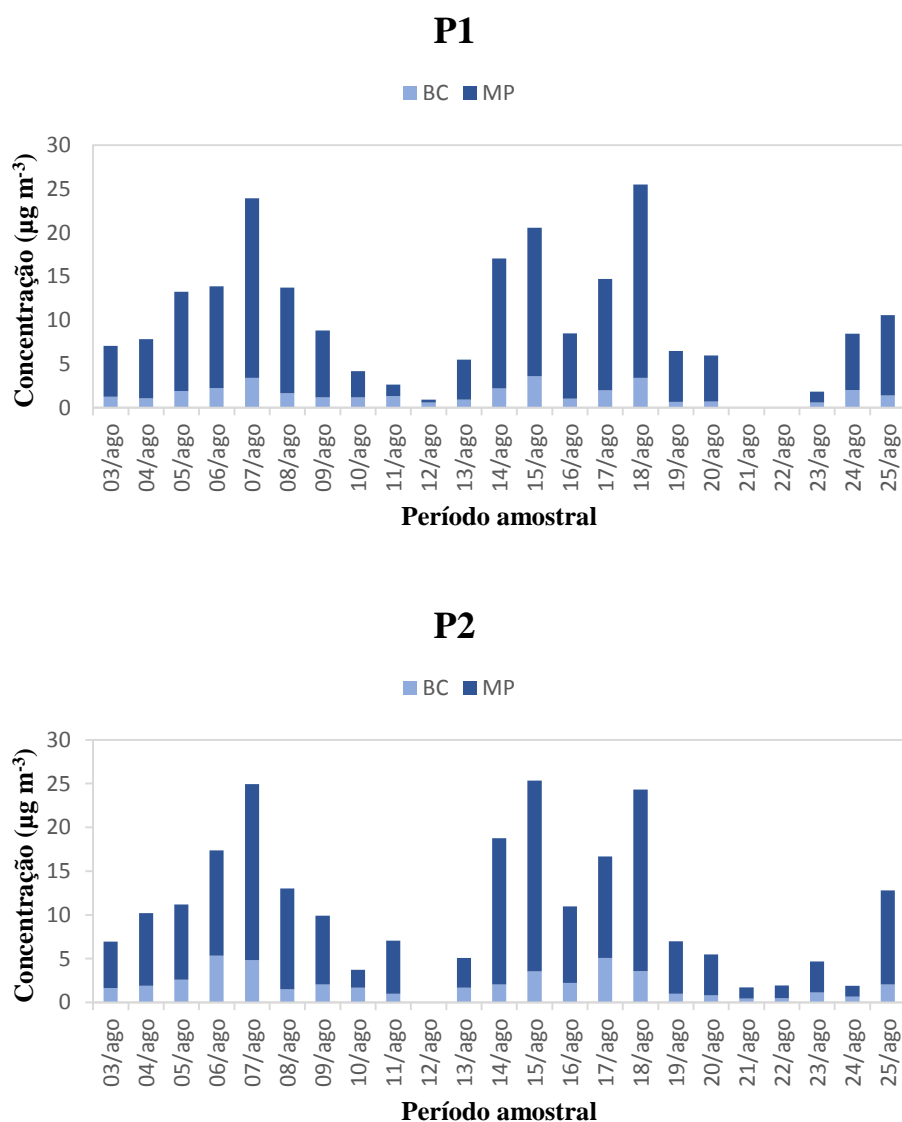


Figura 34: Concentração diária de MP_{2,5} e BCe para P1 (superior) e P2 (inferior) durante a campanha de inverno.

4.5.2 Ambiente Interno

As Figuras 35 e 36 mostram as concentrações médias diárias de partículas para P1 em $\mu\text{g m}^{-3}$ e em partículas L^{-1} , respectivamente. Durante a campanha de inverno foi possível perceber a mesma relação dos intervalos de massa, ou seja, quanto maior o diâmetro da partícula maior a concentração em massa. Na Figura 35 é possível notar que o MP₁ apresentou as menores concentrações e o MP₁₀ as maiores juntamente com as partículas totais em suspensão (PTS).

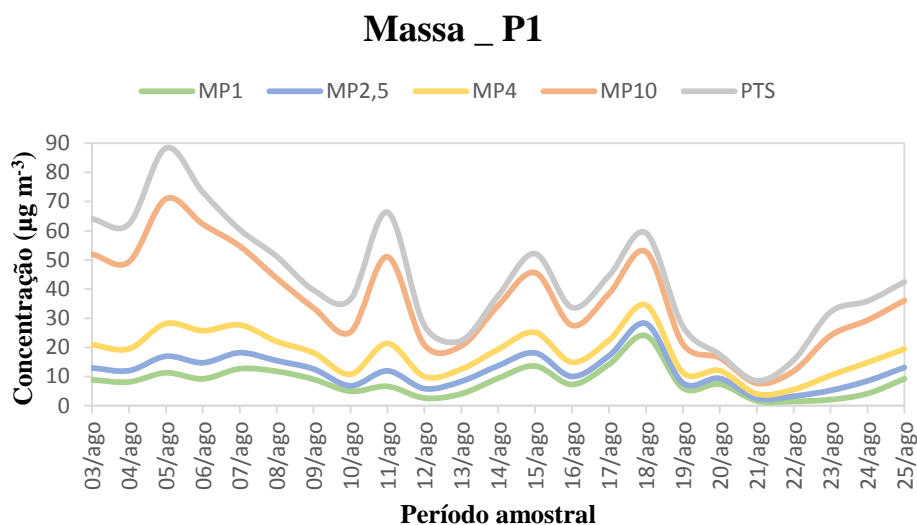


Figura 35: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P1.

Durante a campanha de inverno ocorreram cinco quedas significativas nas concentrações internas, e isso pode ser visto nas Figuras 35 e 36.

As quedas de concentração dos cinco intervalos de massa ocorreram nos dias 10, 12, 16, 19, 21-22. Com exceção do dia 12/08 a diminuição ocorreu devido a ocorrências de precipitação, ou seja, as mudanças nas concentrações externas influenciaram o ambiente interno. Acredita-se que o pico apresentado no dia 11/08, e melhor visto na Figura 35 tenha ocorrido devido às características internas do local, provavelmente por atividades ocorridas neste dia. Como o pico foi um acontecimento interno isso levou a queda da concentração no dia seguinte (12/08).

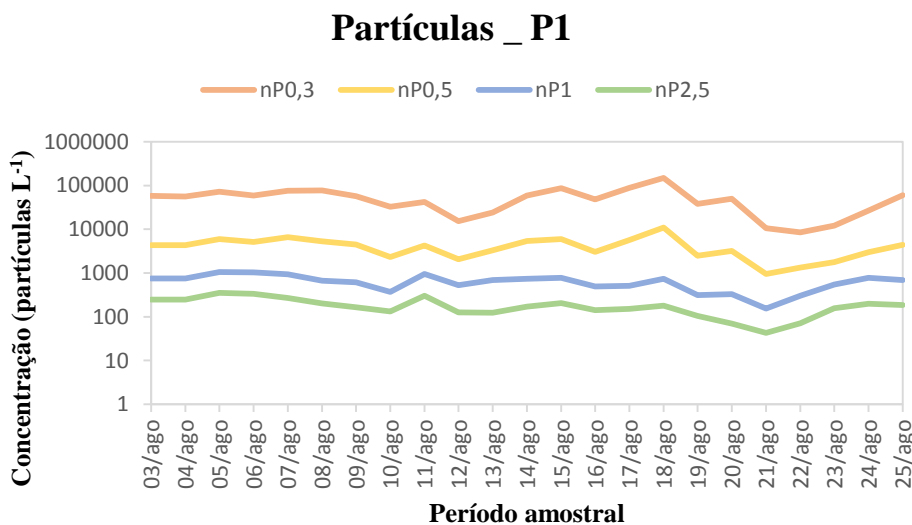


Figura 36: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P1.

A Figura 36 representa a média diária da concentração de número de partículas L^{-1} , porém devido a variabilidade dos valores encontrados, os dados foram plotados em escala logarítmica na base 10, para uma melhor visualização. Nota-se que aquelas de menor diâmetro tendem a apresentar as maiores concentrações, sendo o $nP_{0,3}$, o que apresentou as maiores concentrações e o $nP_{2,5}$ as menores.

As Figuras 37 e 38 mostram as concentrações médias diárias em massa ($\mu g m^{-3}$) e em número de partículas (partículas L^{-1}) para o Ponto 2. De modo geral a Figura 37 não seguiu um comportamento similar a Figura 35, pois as concentrações internas de MP_{10} e PTS para o P2 não foram tão elevadas nem os picos foram representativos. A redução das concentrações em massa para MP_{10} e PTS coincidiu com os domingos, dias que não ocorreram movimentação interna devido à ausência de atividades no local. Com relação a diminuição das concentrações de MP_1 , $MP_{2,5}$ e MP_4 , estas, estiveram relacionadas ao ambiente externo, principalmente com a ocorrência de chuva.

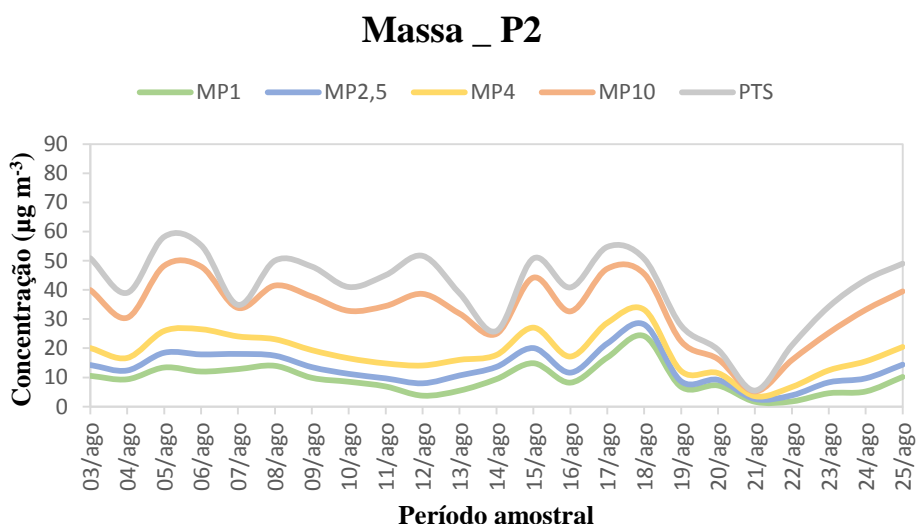


Figura 37: Concentração média diária de massa de partículas interna em cinco intervalos de tamanho para o P2.

A Figura 38 apresenta um comportamento similar a Figura 36, porém com os picos suavizados devido a forma de apresentação escolhida ser em escala logarítmica.

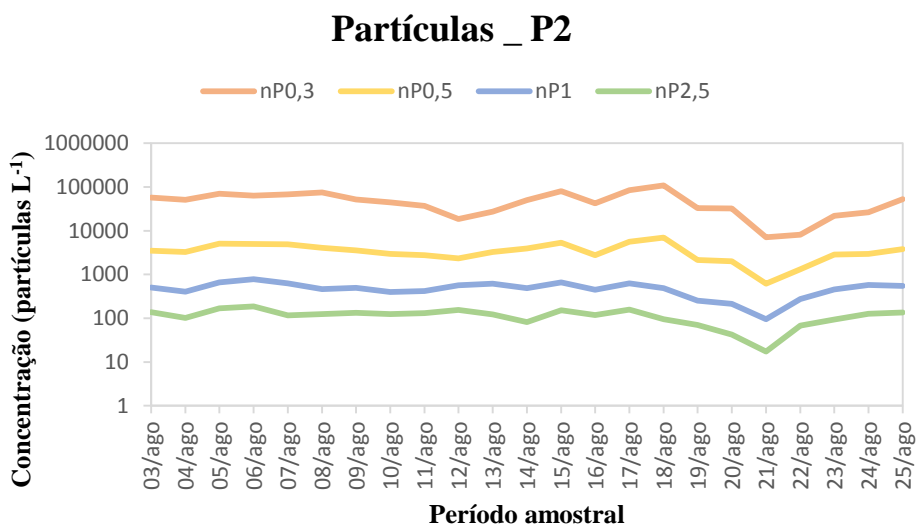


Figura 38: Concentração média diária de número de partículas interna em quatro intervalos de tamanho para o P2.

A Figura 39 mostra as concentrações médias diárias internas de $MP_{2,5}$ para P1 e P2 durante a campanha de inverno. Com exceção do dia 11/08, ambos os sítios apresentam uma concentração interna parecida, no entanto, como explicado anteriormente este pico ocorreu devido a particularidades do ambiente interno. As concentrações diminuíram nos dias que ocorreram precipitação e aumentaram nos outros.

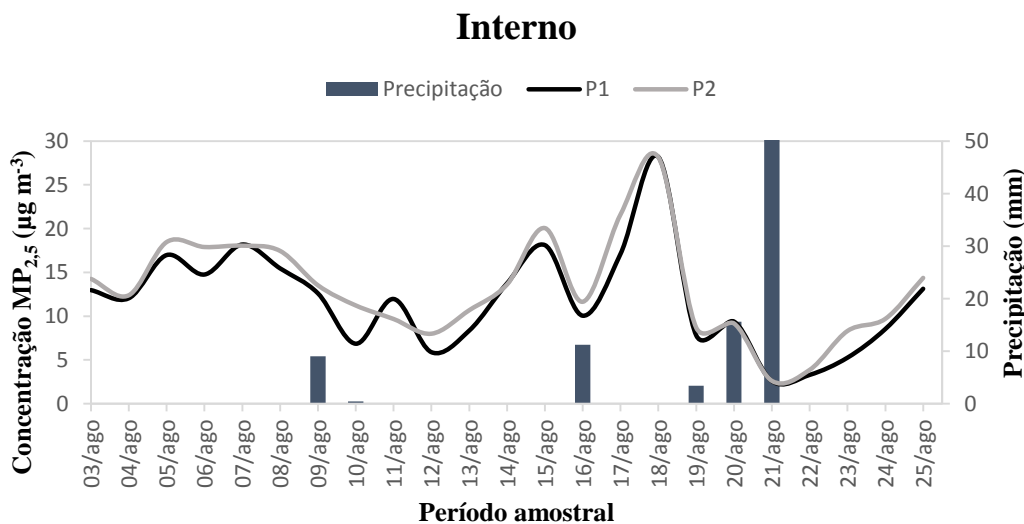


Figura 39: Concentração média diária em ambiente interno de $MP_{2,5}$ para P1 e P2 durante a campanha de inverno.

A Figura 40 representa as concentrações médias diárias internas de PM_{10} para P1 e P2 durante a campanha de inverno, sendo que, a relação dos valores entre os sítios é próxima, com exceção do dia 11/08 como já explicado anteriormente. Apesar dos equipamentos

estarem internamente há uma forte influência do ambiente externo, levando a reduções nas concentrações durante a ocorrência de precipitações.

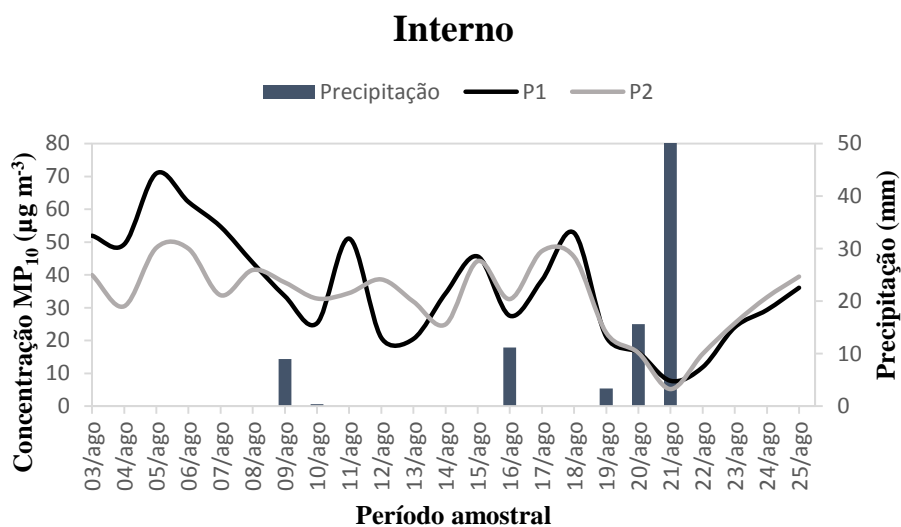


Figura 40: Concentração média diária em ambiente interno de MP₁₀ para P1 e P2 durante a campanha de inverno.

4.5.3 Interno x Externo

As Figuras 41 e 42 estão representando a relação entre os equipamentos internos e externos, e apesar de não ser o objetivo da pesquisa, essa comparação mostrou uma similaridade entre os ambientes, tanto para P1 quanto para P2.

Segundo Barraza et al. (2014) o MP_{2,5} externo contribui significativamente para as concentrações internas, sendo que essa influência é maior quanto maior for a taxa de troca de ar. Pode-se notar que na Figura 41 essa influência se fez presente, no entanto, é comum ambientes internos apresentarem concentrações superiores aos ambientes externos, como o pico do dia 11/08 para P1, sendo que esse tipo de evento irá depender da presença de fontes internas (SEGALIN et al., 2016).

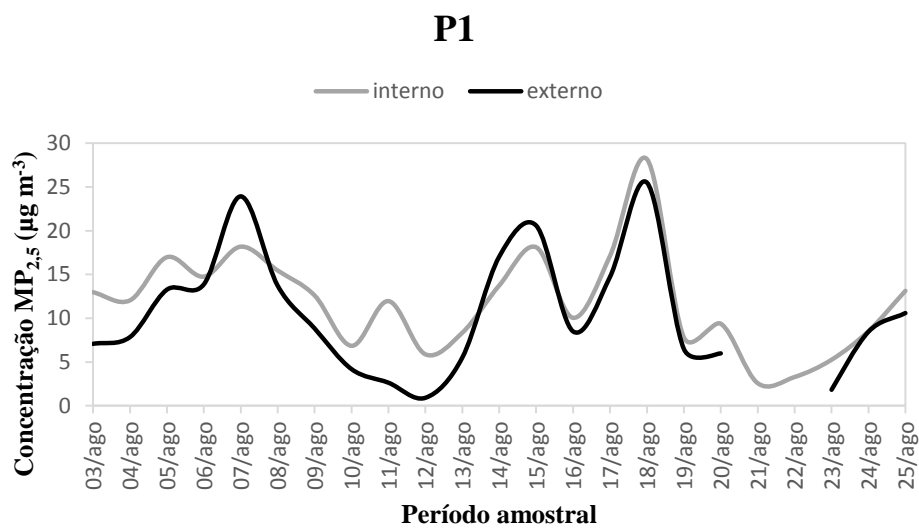


Figura 41: Concentração interna e externa do $MP_{2,5}$ durante a campanha de inverno para o P1.

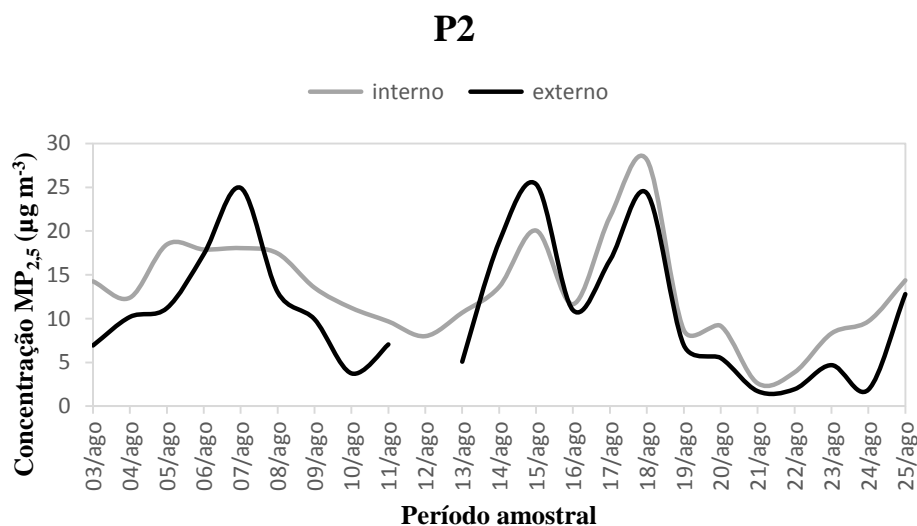


Figura 42: Concentração interna e externa do $MP_{2,5}$ durante a campanha de inverno para o P2.

4.6 ANÁLISE FATORIAL EM DIC

As análises fatoriais foram feitas para as concentrações em massa (MP_1 , $MP_{2,5}$, MP_4 , MP_{10} , PTS e BC), em número de partículas (tamanhos de 0,3, 0,5, 1, 2,5) e com as variáveis meteorológicas de temperatura e umidade relativa médias. A partir da análise fatorial em DIC foi possível observar o comportamento dessas variáveis em relação a

localidade (interno e externo), a estação (verão e inverno) e ao sítio de amostragem (P1 e P2).

A Tabela 8 mostra o resultado apresentado pela análise fatorial. Com relação a localidade, a análise apresentou resultados semelhantes, ou seja, as concentrações de MP_{2,5} nos ambientes externos e internos são semelhantes, confirmando assim, as análises descritivas já realizadas. Para todas as outras variáveis não foi possível realizar a comparação entre localidades.

Estudos com medição de poluentes em ambientes internos têm crescido nos últimos anos, principalmente por medições de material particulado (ALVES et al., 2013). Segundo Mohammed et al. (2015) é importante a realização de estudos simultâneos de ambientes internos e externos, pois pode haver subestimação ou superestimação quanto a exposição real, além disso alguns estudos estimam que as pessoas possam passar mais tempo em locais fechado que em locais aberto, podendo haver variações nas concentrações entre esses locais.

Tabela 8 - Resultado do fatorial duplo e triplo em DIC.

Variáveis	Localidade	Estação	Instituição
MP _{2,5}	s	ns	s
MP ₁	-	ns	s
MP ₄	-	ns	s
MP ₁₀	-	ns	s
PTS	-	ns	s
nP _{0,3}	-	ns	s
nP _{0,5}	-	ns	s
nP ₁	-	ns	ns
nP _{2,5}	-	ns	ns
BC	-	s	ns
Temperatura	-	ns	ns
UR	-	s	s

ns: não semelhante; s: semelhante

Com relação a estação, a análise apresentou resultados não semelhantes para quase todas as variáveis, exceto para BCe e a UR que se mostraram semelhantes tanto na estação de verão quanto na de inverno.

O BCe é produzido pela queima de material carbonáceo, sendo que as principais fontes são queima de biomassa e de combustíveis fósseis (BRIGGS; LONG, 2016; ISLEY

et al., 2017). Os sítios amostrais apresentaram esse tipo de atividade durante todas as campanhas, ou seja, o fluxo de veículos no local e a queima de biomassa localizada não sofreram grandes alterações com a mudança de estação, e isso resultou em concentrações de BCe semelhantes.

Já era esperado que as concentrações em massa e em número de partículas fossem diferentes em ambas as estações. A partir das análises de estatística básica, foi possível observar que as concentrações aumentaram no inverno em relação ao verão, por isso, a não semelhança entre as estações.

Os resultados apresentados pela instituição mostraram semelhanças para a UR e para todas as concentrações em massa, porém, para número de partículas a semelhança foi apenas para aquelas com diâmetro de 0,3 e 0,5. A não semelhança entre a temperatura pode ser explicada pela localização das estações, sendo que uma é rodeada por asfalto, enquanto a outra está rodeada por vegetação, variando assim a temperatura.

Com relação a não semelhança entre os números de partículas, com diâmetro de 1 e 2,5, pode-se dizer que o que afetou foram possivelmente características dos locais que acabaram diferenciando essas concentrações. No P1 o equipamento foi instalado no segundo andar enquanto que no P2 foi instalado no primeiro, a limpeza dos locais também pode ter influenciado bem como características externas (obras, etc).

4.7 CORRELAÇÃO DE PEARSON

A partir da resposta da análise fatorial em DIC alguns fatores puderam ser eliminados para posterior análise de regressão. A semelhança entre localidades e instituição permitiu que na análise final fosse possível analisar apenas a concentração interna, devido a semelhança entre os ambientes para MP_{2,5} e analisar ambos os sítios como um único local. Porém, antes da análise de regressão foi realizado um teste de correlação para a diminuição das variáveis.

As Figuras 43 e 44 mostram as análises de correlação obtida para as concentrações em massa para P1 e P2 nas campanhas de verão e inverno, respectivamente. Em cada figura foi analisada as correlações de P1 e P2 separadamente, ou seja, as correlações entre P1 e P2

não foram levadas em conta. De forma geral as Figuras 43 e 44 apresentam fortes correlações entre as variáveis, sendo que a maior parte dos valores foram acima de 0,7.

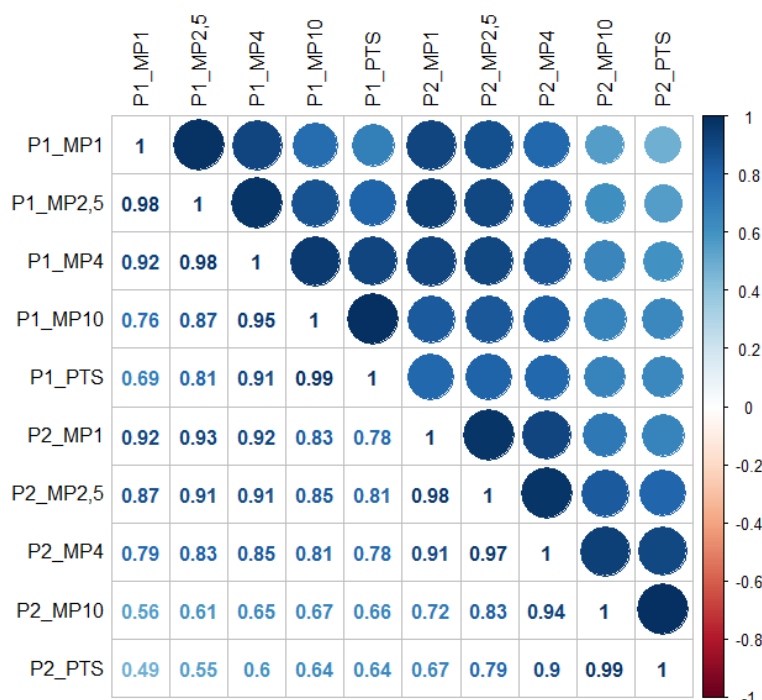


Figura 43: Análise de correlação de massa para P1 e P2 durante a campanha de verão.

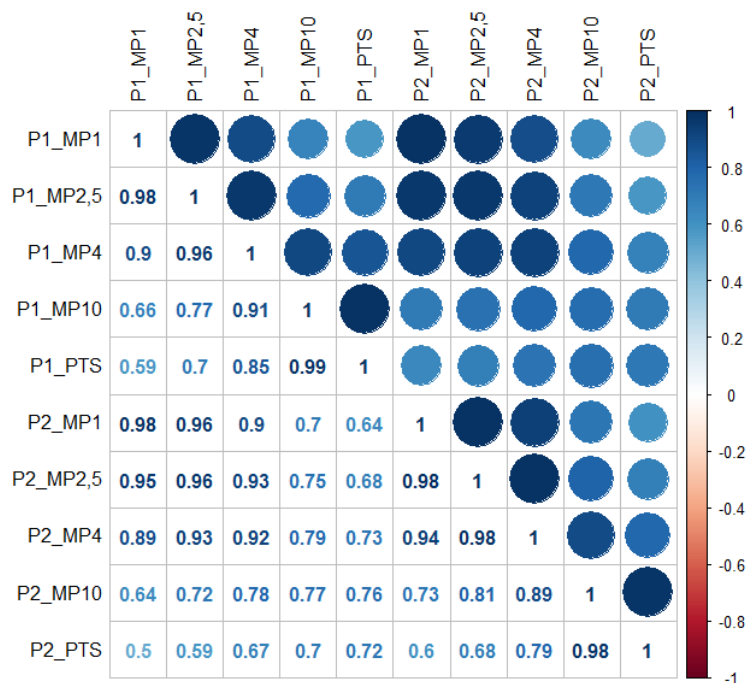


Figura 44: Análise de correlação de massa para P1 e P2 durante a campanha de inverno.

Com relação ao P1 nas Figuras 43 e 44, pode-se perceber que as fortes correlações se deram entre MP₁, MP_{2,5} e MP₄ e entre MP₄, MP₁₀ e PTS. As correlações fracas ocorreram

entre MP_{10} e PTS com MP_1 e $MP_{2,5}$. Como MP_{10} e PTS são altamente correlacionáveis entre si, assim como MP_1 e $MP_{2,5}$, foi possível selecionar apenas uma variável de cada grupo, $MP_{2,5}$ e MP_{10} , para posterior análise de regressão. Com relação ao P2 nas Figuras 43 e 44 o comportamento das correlações mostraram-se semelhantes as descritas para P1.

As Figuras 45 e 46 mostram as análises de correlação para as concentrações em número de partículas para P1 e P2 nas campanhas de verão e inverno, respectivamente. As variáveis analisadas na Figura 45 para o P1 se mantiveram correlacionadas, no entanto na Figura 46 as variáveis de P1 não seguiram o mesmo comportamento.

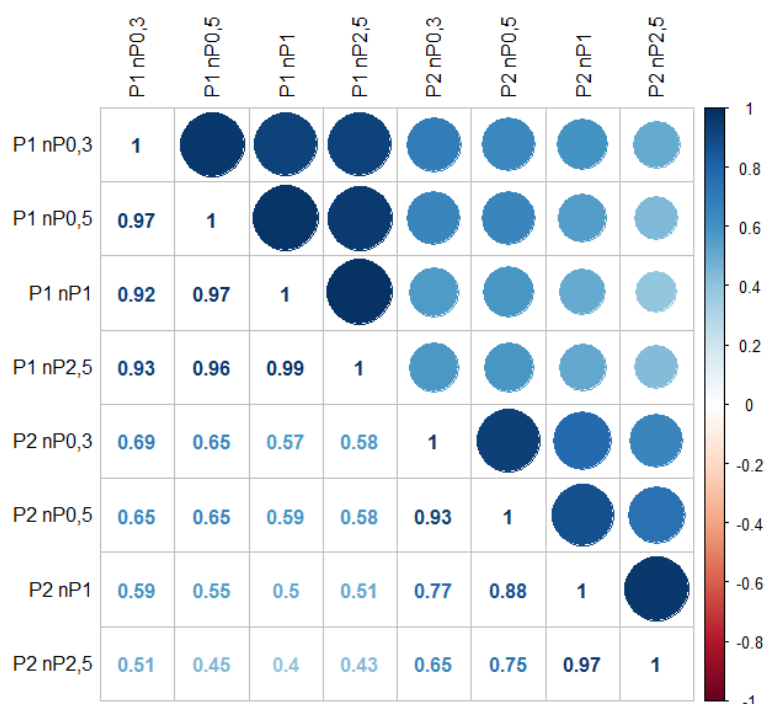


Figura 45: Análise de correlação do número de partículas para P1 e P2 durante a campanha de verão.

Na campanha de inverno (Figura 46) as correlações fortes se deram entre $nP_{0,3}$ e $nP_{0,5}$ (grupo 1) e entre nP_1 e $nP_{2,5}$ (grupo 2), porém as correlações foram fracas entre as variáveis do grupo 1 com as variáveis do grupo 2. Como $nP_{0,3}$ e $nP_{0,5}$ são altamente correlacionáveis entre si, assim como nP_1 e $nP_{2,5}$, foi possível selecionar apenas uma variável de cada grupo, $nP_{0,3}$ e $nP_{2,5}$, para posterior análise de regressão.

Com relação ao P2 nas Figuras 45 e 46, o comportamento das correlações se mostraram semelhantes as descritas para a campanha de inverno de P1. Assim a partir das análises de correlações foram selecionadas as variáveis de $MP_{2,5}$, MP_{10} , $nP_{0,3}$ e $nP_{2,5}$. Afim de complementar a análise de regressão foram incluídas também as variáveis meteorológicas de temperatura e UR e as concentrações de BCe, pois apresentaram correlações fracas quando analisadas com as outras variáveis.

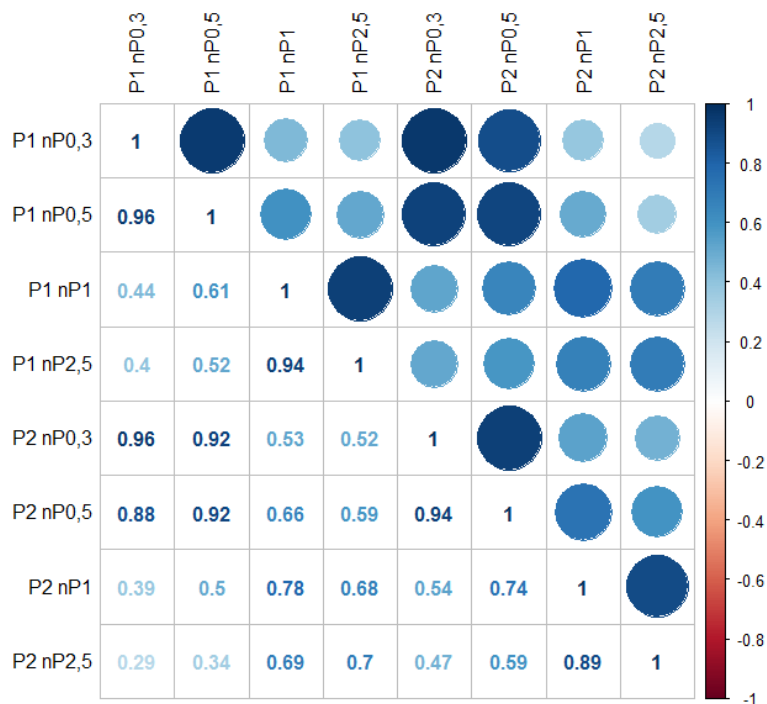


Figura 46: Análise de correlação do número de partículas para P1 e P2 durante a campanha de inverno.

4.8 ANÁLISE DE REGRESSÃO - EQUAÇÕES DE ESTIMAÇÃO GENERALIZADA

A partir da análise de equações de estimação generalizada foi possível observar o comportamento da variável resposta, ou seja, dos sintomas de tosse e expectoração apresentado pela população, em relação as variáveis dependentes ($MP_{2,5}$, MP_{10} , $nP_{0,3}$, $nP_{2,5}$, BCe, UR e temperatura).

Primeiramente foi calculado o risco relativo utilizando o modelo univariável para todas as variáveis selecionadas a partir da análise de correlação, e em seguida foi calculado o intervalo de confiança para cada RR obtido.

A Tabela 9 apresenta o risco relativo, bem como o intervalo de confiança (95%). Com relação ao período tem-se que o RR de um indivíduo apresentar sintomas no inverno é de 2,044 vezes maior do que no verão. Já para o MP_{10} , o indivíduo tem 1,031 vezes mais risco de apresentar sintomas por esse poluente no inverno que no verão, com o aumento das concentrações em cerca de $11 \mu\text{g m}^{-3}$.

Tabela 9 – Risco relativo e intervalo de confiança utilizando o modelo univariável.

Variáveis	RR	IC (95%)
Período	2,044	[1,129 - 3,702]
MP₁₀	1,031	[1,016 - 1,110]
MP_{2,5}	1,164	[1,109 - 1,656]
nP_{0,3}	1,000	[1,000 - 1,000]
nP_{2,5}	1,006	[1,004 - 1,020]
BCe	1,413	[0,756 - 2,641]
Temperatura	0,933	[0,858 - 1,014]
UR	0,974	[0,652 - 1,183]

Efeitos positivos entre visitas emergenciais por doenças respiratórias e aumento nas concentrações de MP₁₀ foram observados em um estudo realizado com crianças em São Paulo, sendo que para um aumento de 10 $\mu\text{g m}^{-3}$ foi encontrado um risco relativo de 1,040 (IC, 1,034 - 1,046) para análise do modelo univariável e de 1,052 (IC, 1,040 - 1,065) para o modelo multipolvente (LIN et al., 1999).

Para o MP_{2,5} o risco é de 1,164, com intervalo de confiança de 1,109 a 1,656 para um aumento de 4 $\mu\text{g m}^{-3}$ no valor médio entre as campanhas. Em um estudo de Linares e Díaz (2010), o MP_{2,5} foi o único poluente a apresentar associação estatística com as admissões hospitalares na cidade de Madri, na Espanha, com RR de 1,07 (IC, 1,02-1,11) para um aumento de 25 $\mu\text{g m}^{-3}$.

Para nP_{2,5} o valor de RR foi de 1,006 sendo que o aumento das concentrações para essa variável foi de 54 partículas L⁻¹. Em um estudo de Atkinson et al. (2010) as concentrações de número de partículas foram associadas a doenças cardiovasculares, sendo que para resultados respiratórios outras variáveis foram mais importantes, como MP_{2,5}.

A variável que apresentou uma maior associação foi o período, por isso, o objetivo foi analisar a diferença dos sintomas entre as estações de verão e inverno, sendo que para sua análise estão inseridas, de forma indireta, todas as outras variáveis analisadas. O período foi influenciado por uma soma de fatores, não descartando a possibilidade da ausência de alguma medida influenciável.

Com base nos valores estimados pelo modelo univariável foram definidas as variáveis utilizadas no modelo multivariável, ou seja, foram inseridas no modelo em grupo todas as variáveis que apresentaram RR maior que um (1). Além disso, foram inseridas as variáveis de temperatura e UR para controlar possíveis vieses que comprometessem a

validade dos resultados. A Tabela 10 mostra o resultado da análise do modelo multivariável para as variáveis que apresentaram significância ($p = 0,05$). A análise em grupo resultou em um aumento da influência do $MP_{2,5}$ no RR, a ausência de relação do MP_{10} e um leve aumento para $nP_{2,5}$.

Tabela 10 – Análise do risco relativo para o modelo multivariável.

Variáveis	RR	IC (95%)
MP_{10}	0,874	[0,599 - 0,973]
$MP_{2,5}$	1,540	[1,045 - 5,383]
$nP_{2,5}$	1.018	[1,002 - 1,071]

Do ponto de vista do efeito sobre a saúde o $MP_{2,5}$ tem mostrado forte associação com indicadores de saúde quando comparado com outros poluentes (LINARES E DÍAZ, 2010). No modelo multivariável as variáveis que apresentaram ser fator de risco à população em estudo foram o $MP_{2,5}$ e o $nP_{2,5}$, ou seja, neste modelo o material particulado com diâmetro de até 2,5 μm medidos, tanto em massa quanto em número contribuíram para o surgimento de sintomas respiratórios em adultos saudáveis. O RR de um indivíduo apresentar sintomas no inverno foi de 1,540 e 1,018 vezes maior que no verão para $MP_{2,5}$ e $nP_{2,5}$, respectivamente.

Estudos que relacionam concentrações de material particulado com sintomas respiratórios em adultos são pouco explorados, no entanto têm mostrado associações positivas entre o MP e efeitos respiratórios. Um estudo de coorte realizado em adultos (18 a 60 anos) na Suíça mostrou que o aumento de poluentes relacionados ao tráfego (MP_{10}) contribuiu para o desenvolvimento de asma, com RR de 1,3 para um aumento de 1 $\mu g m^{-3}$ (KÜNZLI et al., 2009).

Em um estudo ecológico, Shaughnessy, Venigalla e Trump (2015) encontraram um aumento de 0,6% na taxa de visitas emergenciais por infecções respiratórias superiores para o aumento de 10 $\mu g m^{-3}$ de MP_{10} , em um grupo de jovens/adultos saudáveis. Apesar desses estudos trazerem uma abordagem diferente, todos trazem associações positivas entre poluição atmosférica por MP e sintomas respiratórios, seja por percentual de prevalência, admissões hospitalares ou a partir de questionários.

5 CONCLUSÃO

O estudo mostrou que apesar dos sítios amostrais P1 e P2 estarem localizados em regiões distintas e com características de entorno diferenciadas, apresentaram concentrações próximas durante as campanhas de verão e inverno.

A semelhança entre ambientes (interno e externo) e entre localidades (P1 e P2), possibilitou, neste estudo, a análise em conjunto dos ambientes para $MP_{2,5}$ e dos sítios amostrais como um único sítio.

Ambos os locais apresentaram maiores concentrações na campanha de inverno quando comparadas com as de verão.

As variáveis meteorológicas influenciaram na variação das concentrações das variáveis em estudo e além disso condições de estabilidade atmosférica, no inverno, levaram ao aumento nas concentrações desses poluentes.

As concentrações de BCe não variaram significativamente entre as campanhas, nem entre os sítios.

A prevalência dos sintomas (tosse e expectoração) apresentados no verão e inverno, para os dois sítios, foram de 8 % e 21 %, respectivamente. Ou seja, durante a campanha de inverno houve um aumento em 13 % na prevalência dos sintomas.

Em relação ao risco relativo dos indivíduos, aqueles com maior exposição (inverno) apresentaram uma resposta maior em relação à menor exposição (verão). Para o modelo univariável o período, $MP_{2,5}$, MP_{10} e $nP_{2,5}$ apresentaram-se como fator de risco para sintomas respiratórios em indivíduos jovens/adultos saudáveis, enquanto para o modelo multivariável permaneceram o $MP_{2,5}$ e $nP_{2,5}$.

Pode-se concluir com este estudo, que não apenas crianças, idosos ou pessoas imunocomprometidas mas também jovens e adultos saudáveis, na faixa etária ativa de trabalho, são afetados pela poluição atmosférica, mesmo em concentrações de partículas abaixo do limite estabelecido pela OMS. Além disso, o fator estação do ano foi fundamental para o aumento dos sintomas respiratórios, influenciado principalmente pelas variáveis meteorológicas e pelas condições mais estáveis da atmosfera.

REFERÊNCIAS

- AGRANONIK, Marilyn. Equações de Estimação Generalizadas (GEE): Aplicação em estudo sobre mortalidade neonatal em gemelares de Porto Alegre, RS (1995-2007). 2009. 111f. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- AHRENS, C. D. *Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere*. 2007.
- AL JALLAD, Fadi; AL KATHEERI, Entisar; AL OMAR, Muthanna. Concentrations of particulate matter and their relationships with meteorological variables. **Sustainable Environmental Research**, v. 23, n. 3, p. 191 - 198, 2013.
- ALMEIDA, G. P.; BRITO, J.; MORALES, C. A.; ANDRADE, M. F.; ARTAXO, P. Measured and modelled cloud condensation nuclei (CCN) concentration in São Paulo, Brazil: the importance of aerosol size-resolved chemical composition on CCN concentration prediction. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14, p. 7559-7572, 2014.
- ALVARES, Clayton A.; STAPE, José L.; SENTELHAS, Paulo C.; GONÇALVES, José L. M.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 - 728, 2014.
- ALVES, Célia; NUNES, Teresa; SILVA, Joana; DUARTE, Márcio. Comfort parameters and particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in school classrooms and outdoor air. **Aerosol and air quality research**, v. 13, p. 1521-1535, 2013.
- ANDERSON, Jonathan O.; THUNDIYIL, Josef G.; STOLBACH, Andrew. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *Journal of Medical Toxicology*, v. 8, p. 166-175, 2012.
- ANNESI-MAESANO, Isabella; BAIZ, Nour; BANERJEE, Soutrik; RUDNAI, Peter; RIVE, Solenne. Indoor air quality and sources in schools and related health effects. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, part B, v. 16, p. 491-550, 2013.
- ARBEX, Marcos A.; SANTOS, Ubiratan de P. S.; MARTINS, Lourdes C.; SALDIVA, Paulo H. N.; PEREIRA, Luiz A. A.; BRAGA, A. L. F. A Poluição do Ar e o Sistema Respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012.
- AUGUSTO JUNIOR, Carlos J.; CARMO FILHO, José R.; SOUSA, Ana L. L. Prevalência de sinais e sintomas respiratórios em população residente próxima a uma fábrica de cimento, Cezarina, Goiás, 2011. **Caderno de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 120-126, 2014.
- BARRAZA, Francisco; JORQUERA, Héctor; VALDIVIA, Gonzalo; MONTOYA, Lupita. Indoor PM_{2.5} in Santiago, Chile, spring 2012: source apportionment and outdoor contributions. **Atmospheric Environment**, 2014.

BEAL, Alexandra. Avaliação inorgânica de material particulado atmosférico inalável na região norte do Paraná. 2015. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

BEAL et al. Inorganic chemical composition of fine particles in medium-sized urban areas: a case study of Brazilian cities. **Aerosol and Air Quality Research**, *Inpress*, 2017.

BRAGA, Afésio L.F.; CONCEIÇÃO, Gleice M. S.; PEREIRA, Luiz A. A.; KISHI, Humberto S.; PEREIRA, Júlio C. R.; ANDRADE, Maria F.; GONÇALVES, Fábio L. T.; SALDIVA, Paulo H. N.; LATORRE, Maria R. D. O. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. **Journal Environmental Medicine**, v. 1, p. 95-102, 1999.

BRAGA, Alfesio; BÖHM, György M.; PEREIRA, Luiz A. A.; SALDIVA, Paulo. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n. 51, p.58-71, nov 2001a.

BRAGA, Alfésio L. F.; SALDIVA, Paulo H. N.; PEREIRA, Luiz A. A.; MENEZES, Joaquim J. C.; CONCEIÇÃO, Gleice M. S.; LIN, Chin A.; ZANOBETTI, Antonella; SCHWARTZ, Joel; DOCKERY, Douglas W. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. **Pediatric Pulmonology**, v. 31, p. 106-113, 2001b.

BRIGGS, Nicole L.; LONG, Christopher M. Critical review of black carbon and elemental carbon source apportionment in Europe and the United States. **Atmospheric Environment**, v. 114, p. 409-427, 2016.

CAMPOS, Hisbello S. Asma e DPOC: vida e morte. **Boletim de Pneumologia Sanitária**, v. 12, n. 1, p. 37-53, 2004.

CASTANHO, Andréa D. A.; ARTAXO, Paulo. Wintertime and summertime São Paulo aerosol source apportionment study. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 4889-4902, 2001.

CHALOULAKOU, A.; KASSOMENOS, P.; SPYRELLIS, N.; DEMOKRITOU, P.; KOUTRAKIS, P. Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece. **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 649 - 660, 2003.

CHEN, Chi-Hsien; CHAN; Chang-Chuan; CHEN, Bing-Yu; CHENG, Tsun-Jen; GUO, Yue L. Effects of particulate air pollution and ozone on lung function in non-asthmatic children. **Environmental Research**, v. 137, p. 40 - 48, 2015.

COELHO, M. S.; MASSAD E. The impact of climate on Leptospirosis in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 2, p. 233 - 241, mar 2012.

COHEN, Aaron J.; PRÜSS-USTUN, Annette M. Air pollution in the Mega-cities. **Current Environmental Health Reports**, v. 1, n. 3, p. 185-191, jun 2014.

COOKE, William F.; WILSON, Julian J. N. A global black carbon aerosol model. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D14, p. 19395–19409, ago 1996.

COSTA, Giovani G. O.; SOUZA, Reinaldo C.; GOUVEA, Vítor H. C. Um procedimento inferencial para análise fatorial utilizando as técnicas de Bootstrap e Jackknife: construção de intervalos de confiança e testes de hipótese. **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra**, v. 26, n. 1-2, p. 33 - 44, 2007.

COSTA, Silvano C. Estatística aplicada à veterinária. Notas de aula. 384f. Londrina, 2016.

CURTIS, Luke; REA, William; SMITH-WILLIS, Patricia; FENYVES, Ervin; PAN, Yaqin. Adverse health effects of outdoor air pollutants. **Environment International**, v. 32, p. 815-830, 2006.

DAUMAS, Regina P.; MENDONÇA, Gulnar A. S.; LEÓN, Antonio P. Poluição do ar e mortalidade em idosos no Município do Rio de Janeiro: análise de série temporal. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 311-319, fev 2004.

DEGAETANO, Arthur T.; DOHERTY, Owen M. Temporal, spatial and meteorological variations in hourly PM_{2.5} concentration extremes in New York City. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 1547 - 1558, 2004.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Frota de veículos - 2016.

DENATRAN, 2016. Disponível em:

<<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/261-frota-2016>>.

DER – Departamento de Estradas de Rodagem. Duplicação da PR-445, entre Londrina e Cambé, terá cinco passarelas. DER, 2016. Disponível em: <

<http://www.der.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=3125&blid=8&tit=Duplicacao-da-PR-445-entre-Londrina-e-Cambe-tera-cinco-passarelas>>.

DUARTE, João B. Princípios sobre delineamentos em experimentação agrícola. 1996. 66f. Dissertação (Curso de Especialização em Estatística) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1996.

EDWARDS, Lloyd J. Modern statistical techniques for the analysis of longitudinal data in Biomedical Research. **Pediatric Pulmonology**, v. 30, p. 330 - 344, 2000.

EPA - United States Environmental Protection Agency. Terms of Environment: Glossary, Abbreviations and Acronyms. 2006. Disponível em:

<<https://www3.epa.gov/airtoxics/pollsour.html>>.

FERREIRA, Paulo V. Delineamento Inteiramente Casualizado. CECA – UFAL, 2011.

Disponível em: < <https://prodvegetal.files.wordpress.com/2012/04/cap-6.pdf>>.

FREITAS, Felipe T. M.; YOKOTA, Renata T. C.; DE CASTRO, André P. B.; ANDRADE, Silvânia S. C. A.; NASCIMENTO, Gilmara L.; MOURA, Noeli F. O.; CABRAL, Amanda P. S.; IGANSI, Cristine N.; TAUIL, Márcia C.; FERREIRA, Patrícia M.; RAMOS, Carina G.; COSTA, Carolina M.; SKALINSKI, Lacita M.; MEDEIROS, Marcelo A. N.; MARQUES, Daniel; MORENO, Eduardo S.; FIGUEIRA, Gerrita C. N.; FRED, João; FAVACHO, Joana F. R.; COSTA, Rita C. F.; MACÁRIO, Eduardo M.;

NÓBREGA, Aglaêr A. Prevalência de sintomáticos respiratórios em regiões do Distrito Federal, Brasil. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v. 29, n. 6, 451-456, 2011.

FRÖHLICH, Carlos E.; MILANO, Joana; NOGUEIRA, Letícia B. M.; STUMM, Michelli G.; VALENÇA, Raquel. Panorama Industrial do Paraná. 2015.

GOLDSTEIN, H. Longitudinal studies and the measurement of change. **Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)**, v. 18, n. 2, p. 93 - 117, 1968.

GOUVEIA, Nelson; FLETCHER, Tony. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis. **Occupational Environmental Medicine**, v. 57, p. 477-483, 2000.

GUIMARÃES, Luciano S. P.; HIRAKATA, Vânia N. Uso do modelo de equações de estimação generalizada na análise de dados longitudinais. **Revista HCPA**, v. 32, n. 4, p. 503 - 511, 2012.

GUIMARÃES, Paulo R. B. Métodos quantitativos estatísticos. 1. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008.

GURJAR, Bhola Ram; JAIN, A.; SHARMA, A.; AGARWAL, A.; GUPTA, P.; NAGPURE, Ajay Singh; LELIEVELD, J. Human health risks in megacities due to air pollution. **Atmospheric Environment**, v. 44, p. 4604-4613, ago 2010.

HETEM, Ivan G. Quantificação da contribuição veicular para as concentrações atmosféricas de material particulado fino e black carbono em São Paulo. 2014. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HOEK, Gerard; KOS, Gerard; HARRISON, Roy; HARTOG, Jeroen; MELIEFSTE, Kees; BRINK, Harry; KATSOUYANNI, Klea; KARAKATSANI, Anna; LIANOU, Maria; KOTRONAROU, Anastasia; KAVOURAS, Ilias; PEKKANEN, Juha; VALLIUS, Marko; KULMALA, Markku; PUUSTINEN, Arto; THOMAS, Steve; MEDDINGS, Claire; AYRES, Jon G.; WIJNEN, Joop van; HÄMERI, Kaarle. Indoor-outdoor relationships of particle number and mass in four European cities. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 156 - 169, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativa da população residente no Brasil e unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2015. IBGE, 2015. Disponível em:
<ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_dou_2015_20150915.pdf>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE, 2016. Disponível em:
<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=411370&search=parana|londrina|infograficos:-informacoes-completas>>.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Caderno Estatístico: Município de Londrina. IPARDES, 2016. Disponível em:
<<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=86000>>.

ISLEY, C. F.; NELSON, P. F.; TAYLOR, M. P.; MANI, F. S.; MAATA, M.; ATANACIO, A.; STELCER, E. PM_{2.5} and aerosol black carbon in Suva, Fiji. **Atmospheric Environment**, v. 150, p. 55-66, 2017.

JANSSEN, Nicole A. H.; HOEK, Gerard; SIMIC-LAWSON, Milena; FISCHER, Paul; BREE, Leendert van; BRINK, Harry ten; KEUKEN, Menno; ATKINS, Richard W.; ANDERSON, H. R.; BRUNEKREEF, Bert; CASSEE, Flemming R. Black Carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM₁₀ and PM_{2.5}. **Environmental Health Perspectives**, v. 119, n. 12, p. 1691-1699, dez 2011.

KAMPA, Marilena; CASTANAS, Elias. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 362-367, 2008.

KIM, Ki-Hyun.; KABIR, Ehsanul; KABIR, Shamin. A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment international**, v. 74, p. 136-143, 2015.

KOELMANS, Albert A.; JONKER, Michiel T. O.; CORNELISSEN, Gerard; BUCHELI, Thomas D.; VAN NOORT, Paul C. M.; GUSTAFSSON, Örjan. Black carbon: the reverse of its dark side. **Chemosphere**, v. 63, p. 365-377, 2006.

KRZYŻANOWSKI, Michal; APTE, Joshua S.; BONJOUR, Sophie P.; BRAUER, Michael; COHEN, Aaron J.; PRÜSS-USTUN, Annette M. Air pollution in the mega-cities. **Current Environmental Health Reports**, jun 2014.

KÜNZLI, Nino; BRIDEVAUX, Pierre-Olivier; LIU, Sally; GARCIA-ESTEBAN, Raquel; SCHINDLER, Christian; GERBASE, Margaret W.; SUNYER, Jordi; KEIDEL, Dirk; ROCHAT, Thierry. Traffic-related air pollution correlates with adult-onset asthma among never-smokers. **Thorax**, 2009.

KÜNZLI, Nino; PEREZ, Laura; RAPP, Regula. Air quality and health. Switzerland: European Respiratory Society, 2010.

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

LIN, Chin A.; MARTINS, Milton A.; FARHAT, Sylvia C. L.; ARDEN POPE III, C.; CONCEIÇÃO, Gleice M. S.; ANASTÁCIO, Veruska M.; HATANAKA, Marcelo; ANDRADE, Wagner C.; HAMAUE, William R.; BÖHM, György M.; SALDIVA, Paulo H. N. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. **Paediatric and Perinatal Epidemiology**, v. 13, p. 475-488, 1999.

LINARES, Cristina; DÍAZ, Julio. Short-term effect of PM_{2.5} on daily hospital admissions in Madrid (2003-2005). **International Journal of Environmental Health Research**, v. 20, n. 2, p. 129-140, abr 2010.

LOOMIS, Dana; CASTILLEJOS, Margarita; GOLD, Diane R.; MCDONNELL, William; BORJA-ABURTO, Víctor H. Air pollution and infant mortality in Mexico City. **Epidemiology**, v. 10, n. 2, p. 118 - 123, mar 1999.

MADUREIRA, J.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; RODRIGUES, S.; GONÇALVES, C.; AZEVEDO, M. C.; PINTO, E.; MAYAN, O. Indoor air quality in schools and health symptoms among Portuguese teachers. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 15, p. 159-169, 2009.

MADUREIRA, Joana; PACIÊNCIA, Inês; RUFO, João; RAMOS, Elisabete; BARROS, Henrique; TEIXEIRA, João P.; FERNANDES, Eduardo O. Indoor air quality in schools and its relationship with children's respiratory symptoms. **Atmospheric Environment**, jul 2015.

MANN, Jennifer K.; BALMES, John R.; BRUCKNER, Tim A.; MORTIMER, Kathleen M.; MARGOLIS, Helene G.; PRATT, Borian; HAMMOND, Katharine; LURMANN, Frederick W.; TAGER, Ira B. Short-term effects of air pollution on wheeze in asthmatic children in Fresno, California. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n. 10, p. 1497 - 1502, out 2010.

MARTINS, Andréa M. E. B. L.; FERREIRA, Raquel C.; SANTOS-NETO, Pedro E.; RODRIGUE, Carlos A. Q.; VELOSO, Duran N. P.; CRUZ, Janaina M.; DIAS, Leandro C.; COSTA, Daiane C. Delineamento de estudos epidemiológicos e não epidemiológicos da área da saúde: uma revisão de literatura. **Revista Unimontes Científica**, v. 15, n. 2, p. 64 - 80, jul 2013.

MARTINS, Gilberto A. Estatística geral e aplicada. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MARTINS, Lourdes C.; LATORRE, Maria R. D. O.; SALDIVA, Paulo H. N.; BRAGA, Alfésio L. F. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 4, n. 3, p. 220-229, 2001.

MASIOL, M.; HOPKE, P. K.; FELTON, H. D.; FRANK, B. P.; RATTIGAN, O. V.; WURTH, M. J.; LADUKE, G. H. Source apportionment of PM_{2.5} chemically speciated mass and particle number concentrations in New York City. **Atmospheric Environment**, v. 148, p. 215 - 229, 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Doenças respiratórias crônicas. Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica, Brasília, 2010.

MISSAGIA, Suellem. Avaliação do pico de fluxo expiratório em crianças e adolescentes e sua associação com material particulado inalável (MP10) nos municípios de Anchieta e Guarapari (ES). 2012. 125f. Dissertação (Mestrado em Fisiopatologia Experimental) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MOHAMMED, O. A; SONG, Wei-Wei; MA, Wan-Li; LI, Wen-Long; AMBUCHI, John J.; THABIT, Mohammed; LI, Yi-Fan. Trends in indoor-outdoor PM_{2.5} research: a systematic review of studies conducted during the last decade (2003-2013). **Atmospheric Pollution Research**, v. 6, p. 893-903, 2015.

MORAES, Ana Claudia Lopes. Condições de saúde e ambiente no entorno de um Polo Petroquímico no Rio Grande do Norte: uma análise integrada. 2010. 179f. Tese

(Doutorado em Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2010.

MOREIRA, Claudia M. M.; ZANDONADE, Eliana; LACERDA, Thamy; MACIEL, Ethel L. N. Sintomáticos respiratórios nas unidades de atenção primária no Município de Vitória, Espírito Santo, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 8, p. 1619-1626, ago 2010.

MUELLER, M. D.; HASENFRATZ, David; SAUKH, Olga; FIERZ, Martin; HUEGLIN, Christoph. Statistical modelling of particle number concentration in Zurich at high spatio-temporal resolution utilizing data from a mobile sensor network. **Atmospheric Environment**, v. 126, p. 171 - 181, 2016.

PENNER, J. E.; EDDLEMAN, H.; NOVAKOV, T. Towards the development of a global inventory for black carbon emissions. **Atmospheric Environment**, v. 27A, n. 8, p. 1277–1295, 1993.

PENNER, J.E., EDDLEMAN, H., NOVAKOV, T. Towards the development of a global inventory for black carbon emissions. **Atmospheric Environmental**, v. 27, p.1277–1295, 1993.

PIERSE, N.; RUSHTON, L.; HARRIS, R. S.; KUEHNI, C. E.; SILVERMAN, M.; GRIGG, J. Locally generated particulate pollution and respiratory symptoms in young children. **Thorax**, v. 61, p. 216 - 220, jan 2006.

PIVETTA, Ayrdes B. D. A.; BOTELHO, Clóvis. Prevalência de sintomas respiratórios e avaliação espirométrica em trabalhadores de marmorarias. **Jornal de Pneumologia**, v. 23, n. 4, p. 179-188, 1997.

PUBLIO, Alessandra Zanovelli. Prevalência de sintomas respiratórios entre trabalhadores da indústria moveleira, da cidade de Votuporanga – SP. 2008. 104f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

PUUSTINEN, Arto; HÄMERI, Kaarle; PEKKANEN, Juha; KULMALA, Markku; HARTOG, Jeroen; MELIEFSTE, Kees; BRINK, Harry; KOS, Gerard; KATSOUYANNI, Klea; KARAKATSANI, Anna; KOTRONAROU, Anastasia; KAVOURAS, Ilias; MEDDINGS, Claire; THOMAS, Steve; HARRISON, Roy; AYRES, Jon G.; ZEE, Saskia van der; HOEK, Gerard. Spatial variation of particle number and mass over four European cities. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 6622 - 6636, 2007.

QIAN, Zhengmin; ZHANG, Junfeng J.; KORN, Leo R.; WEI, Fusheng; CHAPMAN, Robert S. Exposure-response relationships between lifetime exposure to residential coal smoke and respiratory symptoms and illnesses in Chinese children. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, v. 14, p. 78-84, 2004.

RAES, Frank; VAN DINGENEN, Rita; VIGNATI, Elisabetta; WILSON, Julian; PUTAUD, Jean-Philippe; SEINFELD, John H.; ADAMS, Peter. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 4215-4240, 2000.

RAMOS, Marcelo de Carvalho. Sintomas respiratórios na população da cidade de Ribeirão Preto, SP (Brasil). Resultados da aplicação de um questionário padronizado. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 17, p. 41 - 50, 1983.

RODRIGUES, Ivaneide L. A.; CARDOSO, Ninarosa C. Detecção de sintomáticos respiratórios em serviços de saúde da rede pública de Belém, Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 1, n. 1, p.67-71, 2010.

RODRIGUEZ-VILLAMIZAR, Laura A.; CASTRO-ORTIZ, Henry; REY-SERRANO, Juan J. The effects of air pollution on respiratory health in susceptible populations: a multilevel study in Bucaramanga, Colombia. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.28, n.4, p. 749 - 757, 2012.

ROJAS-BRACHO, Leonora; SUH, Helen H.; OYOLA, Pedro; KOUTRAKIS, Petros. Measurements of children's exposures to particles and nitrogen dioxide in Santiago, Chile. **The Science of the Total Environment**, v. 287, p. 249-264, 2002.

SALDIVA, Paulo H. N.; ARDEN POPE III, C.; SCHWARTZ, Joel; DOCKERY, Douglas W.; LICHTENFELS, Ana Julia; SALGE, João Marcos; BARONE, Ivana; BÖHM, Gyorgy M. Air pollution and mortality in Elderly People: a time-series study in São Paulo, Brazil. **Archives of Environmental Health**, v. 50, n. 2, p. 158-163, mar/abr 1995.

SALDIVA, P. H. N.; LICHTENFELS, A. J. F. C.; PAIVA, P. S. O.; BARONE, I. A.; MARTINS, M. A.; MASSAD, E.; PEREIRA, J. C. R.; XAVIER, V. P.; SINGER, J. M.; BÖHM, G. M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Environmental Research**, v. 65, n. 2, p. 218-225, 1994.

SALMA, Imre; FÜRI, Péter; NÉMETH, Zoltán; BALÁSHÁZY, Imre; HOFMANN, Werner; FARKAS, Árpád. Lung burden and deposition distribution of inhaled atmospheric urban ultrafine particles as the first step in their health risk assessment. **Atmospheric Environment**, v. 104, p. 39 - 49, 2015.

SÁNCHEZ-CCOYLLO, O. R.; ANDRADE, M. F. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 257 - 263, 2002.

SANTOS, Ariane F.; ASSIREU, Arcilan T.; PASSOS, Homailson L.; MATTOS, João G. Z.; SCHMENGLER, Moacir. Estabilidade atmosférica e desenvolvimento de nuvens. INPE, São José dos Campos, 2013.

SCHWARTZ, Joel. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. **Environmental Research**, v. 64, p. 36-52, 1994.

SEGALA, C.; FAUROUX, B.; JUST, J.; PASCUAL, L.; GRIMFELD, A.; NEUKIRCH, F. Short-term effect of winter air pollution on respiratory health of asthmatic children in Paris. **European Respiratory Journal**, v. 11, p. 677 - 685, 1998.

SEGALIN, Bruna; KUMAR, Prashant; MICADEI, Kaonan; FORNARO, Adalgiza; GONÇALVES, Fábio L. T. Size-segregated particulate matter inside residences of elderly in the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil. **Atmospheric Environment**, 2016.

SEINFELD, Jhon H.; PANDIS, Spyros N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.

SHAUGHNESSY, William J.; VENIGALLA, Mohan M.; TRUMP, David. Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population. **Atmospheric Environment**, v. 123, p. 102-111, 2015.

SONG, Chengming; PEI, Binbin; JIANG, Mengting; WANG, Bo; XU, Delong; CHEN, Yanxin. Numerical analysis of forces exerted on particles in cyclone separators. **Powder Technology**, v. 294, p. 437 - 448, mar 2016.

TEODORO, Bernadete N.; ANDRADE, Selma M. Internações pediátricas no Hospital Universitário Regional Norte do Paraná, 1998. **Revista Espaço para a Saúde**, Londrina, v.1, n. 2, p. 89 - 112, jun 2000.

TIWARI, S.; SRIVASTAVA, A. K.; BISHT, D. S.; PARMITA, P.; SRIVASTAVA, M. K.; ATTRI, S. D. Diurnal and seasonal variations of black carbon and PM_{2.5} over New Delhi, India: Influence of meteorology. **Atmospheric Research**, v. 125–126, p. 50 - 62, jan 2013.

TWISK, Jos W. R. Longitudinal data analysis. A comparison between generalized estimating equations and random coefficient analysis. **European Journal of Epidemiology**, v. 19, p. 769 - 776, 2004.

VIALI, Lorí. Testes de hipóteses não paramétricos. UFRGS, Porto Alegre, 2008.

ZENG, Xiang; XU, Xijin; ZHENG, Xiangbin; REPONEN, Tiina; CHEN, Aimin; HUO, Xia. Heavy metals in PM_{2.5} and in blood, and children's respiratory symptoms and asthma from an e-waste recycling area. **Environmental Pollution**, v. 210, p. 346 - 353, 2016.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf>.

WHO - World health organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. 2016.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ambient (outdoor) air quality and health. 2014. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Health effects of particulate matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. 2013.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Outdoor air pollution. Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. **Environmental Burden of Disease Series**, n. 5, 2004

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

WU, Kaibin; LIU, Genfan; MO, Yuchen. Theoretical and experimental study on the separation efficiency of a radial jet cyclone. **Powder Technology**, v. 295, p. 1 - 6, mar 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Vista aérea do entorno do P1.



APÊNDICE B – Vista aérea do entorno do P2.



APÊNDICE C – Questionário sobre sinais e sintomas respiratórios

1 Identificação

1.1 Nome:

1.2 Meio de Contato:

-Telefone: -Observações:

1.3 Endereço:

2 Sinais e sintomas respiratórios

2.3) Costuma tossir por um período de 3 meses ao ano?

Sim Não

2.4) Costuma expectorar (catarro) por um período de 3 meses ao ano?

Sim Não

2.5) De 1 ano para cá, tem tido chiado no peito?

Sim Não

2.6) Costuma tossir logo ao acordar pela manhã?

Sim Não

2.7) Costuma tossir durante o dia ou noite?

Sim Não

2.8) Há quanto tempo vem tendo essa tosse?

2.9) Costuma expectorar (catarro) ao acordar e a expectoração (catarro) vem do peito?

Sim Não

2.10) Costuma expectorar (catarro) durante o dia ou noite?

Sim Não

2.11) Há quanto tempo vem tendo essa expectoração?

2.12) Sente falta de ar?

Sim Não

2.13) Tem crises de falta de ar?

Sim Não

2.14) Costuma ter falta de ar nos intervalos das crises?

Sim Não

2.15) Sente falta de ar quando está andando no plano?

Sim Não

2.16) Já sentiu falta de ar enquanto subia alguma ladeira?

Sim Não

2.17) Costuma ter chiado no peito?

Sim Não

2.18) Somente quando está resfriado?

2.19) Ocasionalmente, mesmo sem estar resfriado?

Sim Não

2.20) Na maioria dos dias ou das noites?

Sim Não

2.21) Tem mais crises de falta de ar e chiado em meses frios?

Sim Não

2.22) Você teve, nos últimos anos, alguma doença respiratória que o obrigou a se afastar do trabalho/estudo por mais de uma semana?

Sim Não

2.23) Durante a doença, você teve mais catarro do que normalmente apresenta?

Sim Não

2.24) Qual o diagnóstico dado pelo médico?

2.25) Você fuma atualmente?

Sim Não Sim, outros

2.26) Quantos cigarros você fuma atualmente?

2.27) Já fumou mais de um cigarro por dia por mais de 1 ano?

Sim Não

2.28) Com que idade começou a fumar?

2.29) Com que idade parou de fumar?

2.30) Costuma praticar alguma atividade física?

Sim Não

2.31) Qual a frequência?

- 1 vez por semana
 2 ou mais vezes por semana

2.32) Data de nascimento

2.33) Sexo

- Masculino Feminino

2.34) Nível de escolaridade

- 0-8 anos 9-11 anos
 acima de 12 anos

2.35) Qual a sua formação?

2.36) Qual a sua atividade/ocupação?

2.37) Em qual região de Londrina mora?

- Norte Sul Leste Oeste
 Central Outras cidades

2.38) Qual é o tipo de construção de sua residência?

- Alvenaria Madeira Outros

2.39) Há quanto tempo mora neste mesmo local?

- 1 ano ou menos 2 anos 3 anos
 4 anos 5 anos

2.40) Utiliza-se atualmente em sua residência fogão a lenha, carvão ou madeira?

- Sim Não

2.41) Próximo à sua residência há fábricas, indústrias ou grandes construções que liberam muita fumaça ou poeira?

- Sim Não

2.42) Tempo de frequência na instituição?

- 4-8 h 8-12 h acima de 12 h

2.43) Há quanto tempo trabalha/estuda neste local?

APÊNDICE D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

Título da pesquisa: AVALIAÇÃO DE CURTO PRAZO NOS SINTOMAS RESPIRATÓRIOS EM INDIVÍDUOS EXPOSTOS AS CONCENTRAÇÕES DE MATERIAL PARTICULADO FINO EM LONDRINA-PR

Pesquisador(es), com endereços e telefones: Rafaela Squizzato, Avenida dos Pioneiros, 3131, Londrina Fone: 43 3348-2103/43 3323-1133

Engenheiro ou médico ou orientador ou outro profissional responsável: Leila Droprinchinski Martins, Avenida dos Pioneiros, 3131, Londrina Fone: 43 3348-2103/43 3323-1133; Marcos Ribeiro, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380, Fone : 43 9160-2626

Local de realização da pesquisa: Londrina.

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa.

Essa pesquisa consiste em avaliar a partir da aplicação do questionário se a população entrevistada apresenta algum sinal e/ou sintoma de doenças respiratórias e, caso presente, se este se encontra associado com os níveis de MP_{2,5} analisados nas regiões de estudo. A mesma está incluída no âmbito de projeto de pesquisa aprovado pelo CNPq (Processo 404104/2013-4).

2. Objetivos da pesquisa.

O objetivo da pesquisa é investigar sinais e sintomas de doenças respiratórias na população que se encontra na cidade de Londrina.

3. Participação na pesquisa.

Você voluntário dessa pesquisa passará por duas entrevistas presenciais, sendo uma realizada no verão de 2016 e a outra no inverno de 2016, onde deverá responder a um questionário (43 questões) contendo duas etapas:

- A primeira parte contendo perguntas gerais a respeito de sua formação, ocupação, nível de escolaridade, tempo de frequência na instituição, há quanto tempo frequenta o local, data de nascimento, sexo, a região de Londrina que mora, o tipo de construção em sua residência e há quanto tempo mora no local, além da utilização de fogão a lenha, carvão ou madeira;

- E a segunda parte contendo perguntas a respeito dos sinais e sintomas respiratórios.

Ao final da entrevista alguns dados para identificação do entrevistado serão colhidos, sendo utilizados apenas para um posterior contato, como o nome, a localidade/ período em que se encontrará na instituição na repetição do questionário e endereço para a confirmação da região em que o entrevistado mora.

4. Confidencialidade.

Todas e quaisquer informações pessoais não serão divulgadas e serão mantidos sob sigilo, sendo essa utilizada somente para fins de pesquisa científica e utilizada e divulgada de forma genérica sem identificação pessoal.

5. Desconfortos, Riscos e Benefícios.

5a) Desconfortos e ou Riscos: Possíveis desconfortos ao responder as questões.

5b) Benefícios: De forma geral alguns benefícios para os indivíduos e população são:

1. Avaliar a associação das doenças respiratórias com a concentração do poluente MP_{2,5};
2. Obter indicadores da relação de doenças cardio-respiratórias com qualidade do ar e variáveis meteorológicas estratificada por idade;
3. Estabelecer uma parametrização que represente a relação de doenças cardio-respiratórias com qualidade do ar e variáveis meteorológicas;
4. Dar subsídio para a elaboração de políticas públicas de adaptação e diminuição das vulnerabilidades da saúde (cardio-respiratória) da população associadas as mudanças climáticas;

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: Adultos da faixa ativa de trabalho (acima de 18 anos).

6b) Exclusão: Não serão incluídas ou selecionadas pessoas que permanecerem no local por um período inferior a 4 horas.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

É importante frisar que a qualquer momento que você, voluntário desta pesquisa, tem o direito de solicitar esclarecimentos quanto ao processo que está ou estará sendo submetido, assim como, não mais participar da pesquisa.

B) CONSENTIMENTO (do sujeito de pesquisa ou do responsável legal – neste caso anexar documento que comprove parentesco/tutela/curatela)

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos e benefícios deste estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome

completo: _____

–

RG: _____ Data de Nascimento: ___/___/_____

Telefone: _____

Endereço: _____

_____ CEP: _____ Cidade: _____ Estado:

Assinatura:

Data: ___/___/_____

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Assinatura

pesquisador:

Data:

(ou seu representante)

Nome completo: Rafaela Squizzato

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com Rafaela Squizzato e/ou Leila D. Martins, via e-mail: lapar.utf@gmail.com ou telefone: 33231133.

Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa para recurso ou reclamações do sujeito pesquisado

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(CEP/UTFPR)

REITORIA: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR,
telefone: 3310-4943, e-mail: coep@utfpr.edu.br

OBS: este documento deve conter duas vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao sujeito de pesquisa.