

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
CÂMPUS APUCARANA/LONDRINA

SUZANA MOREIRA MUNIZ CURTI

**ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO PESSOAL AO MATERIAL PARTICULADO  
ATMOSFÉRICO NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO  
DE CURITIBA**

LONDRINA

2018

SUZANA MOREIRA MUNIZ CURTI

**ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO PESSOAL AO MATERIAL PARTICULADO  
ATMOSFÉRICO NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO  
DE CURITIBA**

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana/Londrina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental. Engenharias I: Poluição do ar e processos atmosféricos.

Orientador: Profa. Dra. Leila Droprinchinski  
Martins

LONDRINA

2018

## 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

C978a Curti, Suzana Moreira Muniz  
Análise da exposição pessoal ao material particulado atmosférico no sistema de transporte público urbano de Curitiba / Suzana Moreira Muniz Curti. – Londrina: [s.n.], 2018.  
70 f. : il.; 30 cm.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leila Droprinchinski Martins  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2018.  
Bibliografia: f. 57-63

1. Material Particulado. 2. Transporte Público. 3. Saúde Ambiental. I. Martins, Leila Droprinchinski, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. 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**

### **ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO PESSOAL AO MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE CURITIBA**

por

**Suzana Moreira Muniz Curti**

Dissertação de mestrado apresentada no dia 15/03/2018 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof. Dr<sup>(a)</sup>. Leila Droprinchinski Martins - Orientadora  
(UTFPR – Câmpus Londrina)

---

Prof. Dr<sup>(a)</sup>. Jorge Alberto Martins- Membro Titular  
(UTFPR – Câmpus Londrina)

---

Prof. Dr<sup>(a)</sup>. Claudia Boian- Membro Titular  
(UFABC – Câmpus Santo André)

---

Profª. Dra Alessandra Furtado da Silva  
Coordenadora 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 primeiramente a Deus, por sempre me dar força, luz e energia em todos os momentos da minha vida. Ter me dado saúde, paciência, sabedoria e ter me permitido todas essas oportunidades de crescer pessoalmente e profissionalmente em todos esses anos de vida.

Agradeço minha família, minha mãe Ivete, por ser minha fonte de amor e proteção, sempre estar me ajudando nos momentos difíceis, cuidando e estar sempre torcendo por mim. Ao meu pai, Edvani, que é uma das minhas maiores inspirações, um dos motivos que me fez seguir o mestrado e chegar até onde cheguei e que sempre me deu o suporte para eu continuar os meus estudos e as escolhas que faço. A minha irmã Simone que sempre vai estar do meu lado e é a pessoa que sempre pude contar. À toda família próxima e pessoas queridas que sempre estiveram torcendo por mim.

A todos os amigos que a vida me trouxe, que sempre estavam presentes para me ouvir, me ajudar e me alegrar, aos amigos que tive a oportunidade de fazer em Londrina e no Laboratório de Eventos Atmosféricos Extremos (EAE) e Laboratório de Análises em Poluição do Ar (LAPAR) que foram de extrema importância na ajuda da pesquisa.

Agradeço a professora Dra. Leila Droprinchinski Martins pela oportunidade de poder realizar a pesquisa, pela confiança, paciência e todo o suporte que precisei durante toda a pesquisa.

À professora Dra. Maria de Fátima Andrade por disponibilizar o Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos (Lapat), do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, viabilizando a utilização dos equipamentos necessários à execução deste trabalho. E em especial, agradeço a colaboração da Rosana Astolfo.

Por fim, agradeço ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a cada pessoa que colaborou de alguma forma para construção deste trabalho.

## RESUMO

CURTI, S.M.M. **Análise da exposição pessoal ao material particulado atmosférico no sistema de transporte público urbano de Curitiba.** 2018. 52p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a exposição pessoal de curto prazo as concentrações em número e massa de partículas, assim como sua composição química elementar em rotas urbanas do transporte público da cidade de Curitiba. Por meio de levantamento de dados georreferenciados da URBS (Urbanização de Curitiba), foram selecionadas cinco rotas de ônibus do sistema de transporte público da cidade de Curitiba nas quais apresentam os maiores fluxos de pessoas da cidade de Curitiba. Nessas rotas principais foram realizadas medidas e coletas do material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>), assim como, da concentração em número de partículas (NP) nos diâmetros de corte de 0,3, 0,5, 1,0 e 2,5  $\mu\text{m}$ . O material particulado fino foi amostrado pelo uso do equipamento pessoal DataRAM™ pDR-1500 em filtro de PTFE de 37 mm com diâmetro de poro de 2  $\mu\text{m}$ , em condições similares a taxa de fluxo do sistema respiratório humano ( $3 \text{ L min}^{-1}$ ), além de um contador de partículas MetOne e acompanhamento do GPS que foram utilizados em todo percurso. Foram feitas três coletas para cada rota selecionada em períodos de pico e não pico. Os filtros coletados da amostragem foram analisados e quantificados para determinar a composição química elementar do material amostrado, com o uso da técnica Fluorescência de Raio X (EDX-RX) e do *Black Carbon* elementar (BCe) por refletância. As concentrações no horário de pico, variaram de 18,4 a 23,7  $\mu\text{m m}^{-3}$ , e no horário de não pico variou entre 9,9 à 14,2  $\mu\text{m m}^{-3}$ . Para NP<sub>0,3</sub> no período de não pico variaram de partículas 240  $\text{cm}^{-3}$  a partículas 330  $\text{cm}^{-3}$  e de 200 partículas  $\text{cm}^{-3}$  a 300 partículas  $\text{cm}^{-3}$  para pico em cada rota. Foram identificados três principais compostos presentes na atmosfera analisada: enxofre (S), com concentração de 1547,6  $\text{ng m}^{-3}$  no período de pico e 1710,3  $\text{ng m}^{-3}$  para não pico, Sódio (Na) com 2203,8  $\text{ng m}^{-3}$  para pico e 1476,3 para não pico e o Ferro (Fe) apresentou um valor de 357,0  $\text{ng m}^{-3}$  para pico e 497,8  $\text{ng m}^{-3}$  para não pico. Para o BCe, no período de não pico variou de 7.43 – 16.19  $\mu\text{g m}^{-3}$  e para pico 11.05 – 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

**Palavras – chave:** Exposição Pessoal, Transporte Público, Material Particulado, Número de Partículas

## ABSTRACT

CURTI, S.M.M. **Analysis of the personal exposure to the particulate atmospheric material on the urban public transportation system of Curitiba.** 2018 52p. Dissertation (Master Degree). Post-graduation Program on Ambiental Engineering (PPGEA), Campus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

The present study aims to evaluate short-time personal-exposures to particles characterized by concentration [in number and mass] and by particles chemical elementary composition, existing at Curitiba's public transportation routes. Five different bus-routes belonging to public transportation-system of Curitiba city (Brazil) were selected through data survey (URBS - Urbanização de Curitiba). Such routes presented the largest flow of people as compared to other routes in that city. Thin particular matter (PM) were collected on these main routes. Concentration in number of the particles with diameter cut off at 0.3, 0.5, 1.0 and 2.5  $\mu\text{m}$  was determined. The particulate material was sampled by the personal equipment DataRAM pDR-1500 in a PTFE filter with 37 mm and PORO diameter of 2  $\mu\text{m}$ , in similar conditions as the flow of the human respiratory system ( $3 \text{ L min}^{-1}$ ), beyond a particles counter MetOne with the help of a GPS. Such apparatus were used in whole routs, during the sampling. Three runs were made for each selected route. For each run, the as-collected filter was further examined and quantified [through Energy Dispersive X-ray Fluorescence spectroscopy (EDX-RX)] to determine the elemental chemical composition from the sampled material; the *Black Carbon* elemental (BCe) was quantified by Reflectance. Most of the peak time  $\text{MP}_{2.5}$  concentrations were 18.4 to 23.7  $\mu\text{g m}^{-3}$  and on off peak time were 9.9 to 14.2  $\mu\text{g m}^{-3}$ . The number particles with size below 0.3  $\mu\text{m}$  ( $\text{PN}_{0.3}$ ) ranged from 240 to 330 particles  $\text{cm}^{-3}$  on the off peak time; and from 200 to 300 particles  $\text{cm}^{-3}$  on the peak time for each route. From the chemical elements in the sampled environment, three of them can be noticed according to the detected amount: i) Sulfur (S), concentrations: 1547.6  $\text{ng m}^{-3}$  on the peak time and 1710.3  $\text{ng m}^{-3}$  on the off peak time; ii) Sodium (Na) concentrations: 2203.8  $\text{ng m}^{-3}$  on the peak time and 1476.3 on the off peak time; and Iron (Fe) concentrations: 357.0  $\text{ng m}^{-3}$  on the peak time and 497.8  $\text{ng m}^{-3}$  on the off peak time. The concentration of *Black Carbon* elemental (BCe) changed from 7.43 to 16.19  $\mu\text{g m}^{-3}$  on the off peak time; on the peak time it changed from 11.05 to 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

**Keywords:** Personal exposition; Public transportation; Particulate material; Number of particles.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Deposição do MP no sistema respiratório humano. ....	14
<b>Figura 2:</b> Distribuição hipotética da mistura de partículas na atmosfera. ....	15
<b>Figura 3:</b> Esquema da Rede Integrada de Transporte de Curitiba – RIT (URBS) .....	23
<b>Figura 4:</b> Ilustração das categorias de ônibus selecionados no estudo.....	24
<b>Figura 5:</b> Trajeto percorrido pelas linhas de ônibus de transporte público selecionadas. ....	26
<b>Figura 6:</b> a) Mochila contendo os equipamentos portáteis (Pdr 1500, MetOne 804 e GPS Data Logger) com o inlet externo, fixado na alça. B) Equipamento pessoal MIE pDR-1500 (Thermo Fisher Scientific). c) Filtro de PTFE (PALL Corporation) com 37 mm d) Contador de partículas de quatro canais, modelo 804 da marca Met One Instruments. ....	29
<b>Figura 7:</b> Localização do Município de Curitiba e das estações meteorológicas e estações de Qualidade do ar.....	31
<b>Figura 8:</b> Concentração geral de $MP_{2,5}$ medido nas rotas estudadas. As barras representam o valor mínimo, quartil 1, mediana, quartil 3, valor máximo, média e intervalo.....	37
<b>Figura 9:</b> Concentração geral de $NP_{0,3}$ medidas nas rotas estudadas. As barras representam o valor mínimo, quartil 1, mediana, quartil 3, valor máximo, média e intervalo.....	38
<b>Figura 10:</b> Concentrações de $MP_{2,5}$ distribuídas nas rotas percorridas para períodos de pico. ....	39
<b>Figura 11:</b> Concentrações de $MP_{2,5}$ distribuídas nas rotas percorridas para períodos de não pico. ....	40
<b>Figura 12:</b> Concentrações dos valores de $MP_{2,5}$ e $NP_{0,3}$ medidos durante uma viagem realizada no horário de pico (ROTA 2). ....	42
<b>Figura 13:</b> Medidas feitas para a amostragem de $MP_{2,5}$ e $NP_{0,3}$ na Rota 1 .....	43
<b>Figura 14:</b> Medidas feitas para a amostragem de $MP_{2,5}$ e $NP_{0,3}$ na Rota 2.....	45
<b>Figura 15:</b> Medidas feitas para a amostragem de $MP_{2,5}$ e $NP_{0,3}$ na Rota 3.....	46
<b>Figura 16:</b> Medidas feitas para a amostragem de $MP_{2,5}$ e $NP_{0,3}$ na Rota 4.....	48
<b>Figura 17:</b> Medidas feitas para a amostragem de $MP_{2,5}$ e $NP_{0,3}$ na Rota 5.....	49
<b>Figura 18:</b> Composição média dos filtros no período de pico para as cinco rotas estudadas. 50	
<b>Figura 19:</b> Composição média dos filtros no período de não pico para as cinco rotas estudadas.....	51



**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1:</b> Características das rotas de ônibus de transporte público selecionadas. ....	25
<b>Tabela 2:</b> Informações sobre os equipamentos utilizados e análises realizadas durante a pesquisa. ....	27
<b>Tabela 3:</b> Elementos químicos encontrados para o período de Pico. ....	52
<b>Tabela 4:</b> Elementos químicos encontrados para o período de Não Pico. ....	53
<b>Tabela 5:</b> Dose e Índice de Perigo (IP) para todas as rotas no pico e não pico .....	55

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.3 Material Particulado Atmosférico .....	13
2.1.1 Black Carbon .....	16
2.2 Exposição Pessoal .....	17
2.3 Poluição Atmosférica e Transporte Público.....	18
3. OBJETIVOS.....	20
3.3 Objetivo Geral.....	20
3.3 Objetivos específicos .....	20
4. METODOLOGIA.....	21
4.3 Área de Estudo.....	21
4.3 Sistema de transporte público de Curitiba .....	22
4.2.1 Seleção das Rotas .....	24
4.3 Desenho da amostragem e instrumentação utilizada .....	27
4.3 Dados Meteorológicos e de qualidade do ar .....	30
4.3 Dados da Qualidade do Ar .....	31
4.3 Análise de B <sub>Ce</sub> e da composição química elementar .....	32
4.6.1 Black Carbon equivalente – B <sub>ce</sub> .....	32
4.3 Análise da composição Química elementar.....	33
4.3 Balanço de Massa .....	34
4.3 Análise da Exposição e Dose Recebida.....	34
4.3 Análise Estatística.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	36
5.3 Análise das concentrações em todas as rotas.....	36
5.1.1 Análise entre as rotas .....	37
5.1.2 Análise entre os períodos de pico e não pico .....	38
5.1.3 Análise espacial e temporal .....	41
5.3 Medidas e análises das Rotas.....	42
5.3 Composição elementar do MP <sub>2,5</sub> .....	50
5.3 Composição Química.....	52
5.3 Dose inalada e análise de risco .....	54
6. CONCLUSÕES.....	56

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	56
REFERÊNCIAS .....	57
APÊNDICES .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

A presença do homem e sua adaptação às condições do meio natural têm sido historicamente uma relação de conflito. Há muitos anos a atividade humana vem alterando a superfície terrestre, mas após o marco da revolução industrial a uma taxa muito maior, se comparada a muitos processos naturais (CALDEIRA et al. 2004).

Por exemplo, as atividades humanas têm aumentado significativamente as emissões para atmosfera de metais como chumbo (Pb), cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd), manganês (Mn), entre outros diversos elementos e compostos químicos. Estes são posteriormente depositados de volta à superfície Terrestre, interferindo em seus ciclos biogeoquímicos naturais (RAUCH e PACYNA, 2009).

A poluição atmosférica é um fenômeno resultante de um conjunto de poluentes, principalmente oriundos de ações antrópicas, como atividades industriais, de transporte, de mineração, de geração de energia, entre outras (BAILEY e SOLOMON, 2004). Episódios agudos de poluição de ar associados a condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes, e muitas vezes ao estilo de vida urbano tem refletido, sobretudo, no aumento de casos de enfermidades, principalmente cardiorrespiratórias (GENARO, 2011).

Segundo Smith, 1993, em centros urbanos, onde a maior parte da população vive atualmente, os riscos à saúde associados a mudanças climáticas e fatores ambientais se amplificam. No Brasil, cerca de 85% da população vive em centros urbanos e, na grande maioria, em condições não adequadas de moradia, tornando-se mais vulneráveis ao calor, umidade, concentração de partículas, gases tóxicos, etc. Estatísticas de países desenvolvidos revelam que as pessoas permanecem em média, cerca de 89% do seu tempo em interiores, 6% em meios de transporte e 5% ao ar livre, enquanto em países menos desenvolvidos a permanência ao ar livre está por volta de 21% nas áreas urbanas.

Atualmente, os veículos são a principal fonte de emissão de poluentes para a atmosfera, em especial nos grandes centros urbanos (BRAGA, et al., 2002; KARAGULIAN et al. 2015; LANDRIGAN et al., 2017). Automóveis movidos a etanol e/ou a gasolina são emissores importantes de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e hidrocarbonetos (HC), enquanto os veículos com motor do ciclo diesel, em especial os caminhões e ônibus, são emissores importantes de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), NO<sub>x</sub>, *Black carbon* (BC) e material particulado atmosférico (MP).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a poluição do ar causa aproximadamente 20.000 mortes por ano no Brasil, sendo o MP, o ozônio (O<sub>3</sub>) e os NO<sub>x</sub> os principais responsáveis. O mecanismo mais aceito para explicar os efeitos adversos a saúde (sistema respiratório) dos poluentes é que em contato com o epitélio respiratório, altas concentrações de oxidantes e pro-oxidantes presentes nos poluentes como o MP, gases como O<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> causam a formação de radicais livres que induzem o *stress* oxidativo nas vias aéreas, desencadeando um processo inflamatório (ARBEX et al., 2012).

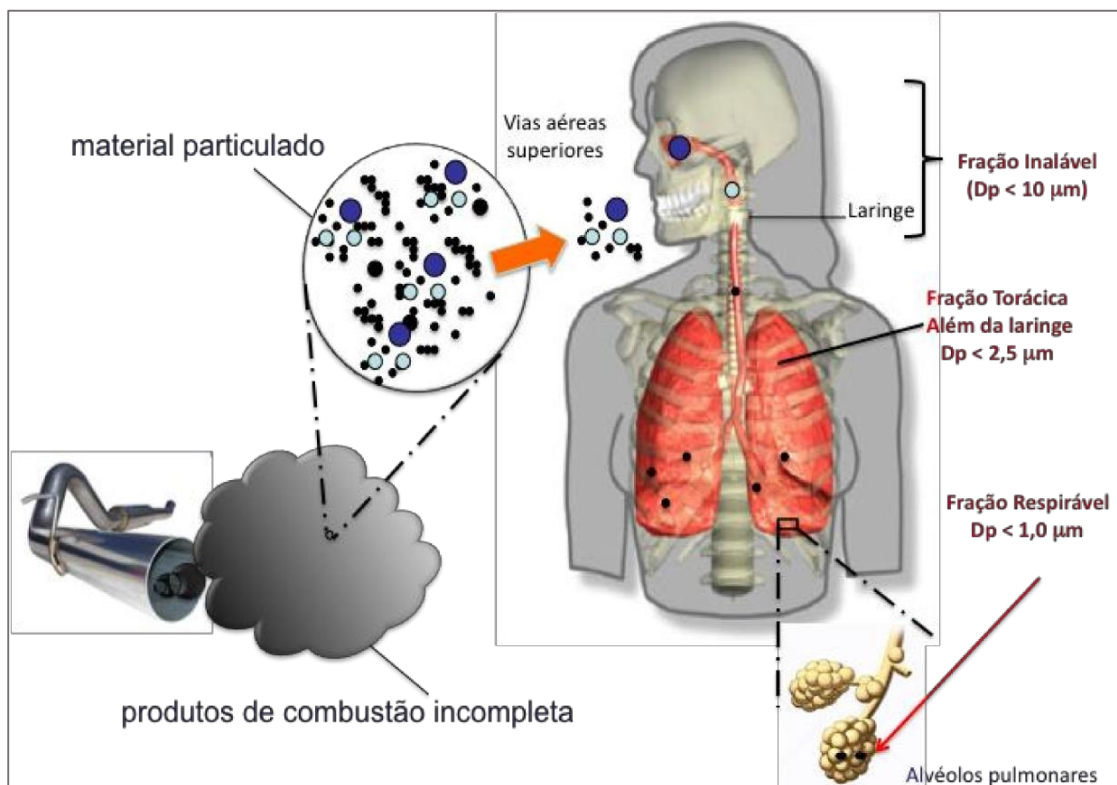
No Brasil existem muitos estudos relacionando saúde e os fatores ambientais (mudanças climáticas, qualidade do ar, etc.), sendo a maioria focados na associação da poluição atmosférica com a saúde na cidade de São Paulo (SALDIVA et al., 1994; SALDIVA et al., 1995; BRAGA et al., 2001) no entanto estudos com medidas de exposição pessoal nos deslocamentos urbanos, principais momentos que estamos expostos aos poluentes atmosféricos no nosso dia-a-dia ainda são muito poucos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.3 Material Particulado Atmosférico**

O MP é qualquer partícula no estado líquido ou sólido (ou a mistura destas fases) em suspensão no ar. Estão presentes na atmosfera na forma de poeira, névoas, fumos e fumaça. O MP é um dos mais importantes parâmetros em estudo de poluição atmosférica devido aos diversos impactos que ele causa à saúde humana e ao meio ambiente (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Quando inalados, eles são depositados seletivamente em todo o trato respiratório de acordo com seus tamanhos (Figura 1). Portanto, o tamanho das partículas está diretamente relacionado a potenciais danos à saúde, afetando os pulmões e outros órgãos (WHO, 2006). As partículas finas, com tamanho entre 0,01 e 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>) e ultrafinas (menores que 0,01 µm) são conhecidamente as maiores responsáveis pelos efeitos nocivos do MP à saúde (KÜNZLI, et al., 2010). Estas podem penetrar mais facilmente nos pulmões e vias sanguíneas e são, portanto, mais propensas a aumentar a incidência de problemas respiratórios e doenças cardiovasculares (ANDERSON et al., 2012; SCHWARTZ et al., 2002).

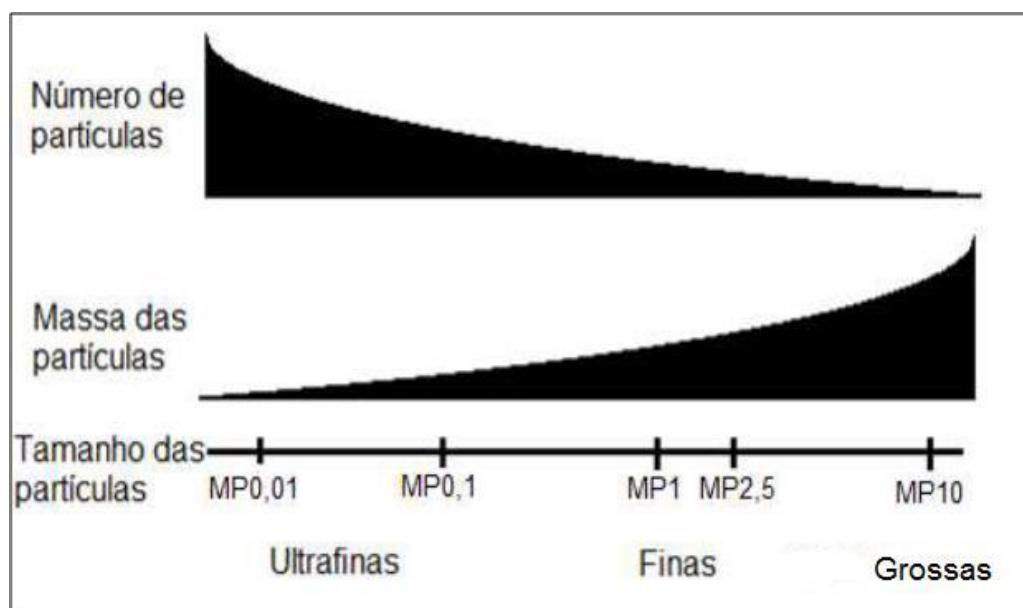


**Figura 1:** Deposição do MP no sistema respiratório humano.

Fonte: Guarieiro (2011)

Por esta razão, e como medida de proteção à saúde, a OMS recomenda valores máximos para diversos poluentes. No entanto, a literatura tem mostrado que efeitos adversos podem ocorrer mesmo abaixo desses valores, não existindo um limite seguro, que alega que a maior incidência de patologias, tais como asma e bronquite, está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos (SALDIVA, 2013). Há padrão estabelecido no Brasil, porém, bem menos restritivo tanto em relação aos poluentes como para aos valores máximos permitidos (KUMAR et al., 2016).

Em uma amostra ambiental, o número total de partículas aumenta exponencialmente à medida que o diâmetro destas diminui. No entanto, o total de massa geralmente aumenta exponencialmente conforme aumenta o diâmetro da partícula, de acordo com a Figura 2. Desta forma, uma amostra de MP tem a maioria numérica de partículas ultrafinas, mas estas partículas constituem uma fração não significativa da massa total da amostra (ANDERSON et al., 2011).



**Figura 2:** Distribuição hipotética da mistura de partículas na atmosfera.

Fonte: Adaptado de Anderson et al. (2012).

O Material particulado pode se originar de diversas fontes, como atividades antropogênicas como a queima de biomassa e de combustíveis fósseis (emissão de fuligem e fumaça) e por fontes naturais como pelos oceanos (através do sal marinho lançado na atmosfera pelos sprays das ondas), desertos e vulcões (pelo levantamento de poeiras por meio dos ventos e pelo dióxido de enxofre -  $\text{SO}_2$  - emitido pelos vulcões). A maioria do MP urbano fino é de origem secundária devido às atividades antropogênicas, a conversão gás-partícula desempenha um papel importante, em especial nos processos em que os gases reagem quimicamente sobre a superfície de partículas pré-existentes, formando produtos líquidos ou sólidos. Esse processo não resulta na formação de novas partículas, apenas resulta na adição de massa e novas espécies químicas nas partículas já existentes. O processo que dá origem a novas partículas é o de nucleação homogênea e heterogênea. Assim, há uma considerável variação na composição e propriedades físicas das partículas, dependendo da fonte e também das condições meteorológicas, além da localização geográfica (MIRANDA et al, 2001, HOBBS, 2000, JACOBSON, 2005). No estudo de Heo, et al. (2009) foi analisado fontes de  $\text{MP}_{2,5}$  e os principais contribuintes foram nitrato secundário, sulfato secundário, gasolina de veículos, queima de biomassa, solo, indústrias e sal marinho. Os níveis de  $\text{MP}_{2,5}$  no local estudado (Seul – Coreia) foram influenciados tanto pelas atividades urbanas locais como pelos transportes de

escala regional. No contexto de mudanças climáticas, o estudo do aerossol se concentra na descrição global de suas fontes e na sua distribuição espacial, mostrando assim que seu efeito direto sobre o balanço de energia na Terra está ligado ao espalhamento e absorção da radiação solar (SEINFELD E PANDIS, 1998).

### 2.1.1 *Black Carbon*

Black carbon (BC) é um poluente que compõe o MP. Ele é emitido pela combustão incompleta de combustíveis fósseis, madeira ou biomassa. O BC é emitido em vários processos de combustão e é encontrado em todo o sistema terrestre. Tem um relevante papel na contribuição para o aquecimento global, devido sua capacidade de absorver a radiação solar em todos os comprimentos de onda, além de alterar padrões de precipitação e formação de nuvens. Uma grande fração das concentrações de BC atmosférico é devida a atividades antropogênicas (BOND et al., 2013).

Na literatura, o termo *Black Carbon* é geralmente usado para referir-se a medida de partículas que possuem propriedades como a absorção de luz medidos através de métodos de atenuação óptica. Para se referir as estimativas de massa de BC utilizando métodos de medidas ópticas os pesquisadores utilizam o termo *Black Carbon* equivalente (BCe) (BOND et al., 2013; LACK et al., 2014; ZENCAK et al., 2007). Vale destacar que, ainda não existe legislação específica, que estabeleça limites de concentração para o BC na atmosfera.

Em um estudo, Andrade et al. (2012) avaliou a contribuição das emissões veiculares para a concentração de MP<sub>2,5</sub> em seis cidades brasileiras. Em todas as cidades avaliadas, as emissões veiculares foram responsáveis pela maioria das emissões de MP<sub>2,5</sub> e a queima de diesel foi a principal fonte de emissão de *black carbon*. Em outro estudo, Pátron et al. (2017) avaliou as fontes de *black carbon* equivalente (BCe) e a contribuição de queimas de biomassa e combustíveis fósseis na cidade de Granada em um monumento que é visitado por mais de 2 milhões de pessoas por ano. Inesperados níveis elevados de BCe foram encontrados no Alhambra, comparáveis aos medidos em várias áreas urbanas europeias poluídas durante o inverno. No estudo verificou-se que as emissões do tráfego rodoviário é um dos principais fatores do alto nível de BCe comparado a queima de biomassa que obteve um impacto muito pequeno no resultado. Targino et al. (2017), mediram as concentrações de Black Carbon durante os deslocamentos de ônibus, caminhada e bicicleta em uma cidade brasileira e foram encontradas uma grande variabilidade espacial em toda a área de estudo. Concentrações



maiores foram encontradas perto de sinais de trânsito e paradas de ônibus. Portanto, volumes de tráfego nas estradas (especialmente o número de veículos pesados a diesel), poluição do tubo de escape do ônibus, número de paradas ao longo da rota e velocidade de deslocamento foram as principais fontes da poluição do ar dentro dos ônibus, que possuiu uma maior concentração do poluente comparado aos outros tipos de deslocamentos.

## **2.2 Exposição Pessoal**

Devido às relações complexas entre os seres humanos e seus ambientes é necessário integrar fatores contextuais, como ambientais, socioeconômicos e comportamentais, na avaliação da exposição, que cobre todos os aspectos de estimar ou medir a exposição a um indivíduo. Investigando variações de exposição individual a poluentes preocupantes por idade, sexo, status socioeconômico, características do bairro, nível de atividade ou etnia, por exemplo, requer novos métodos e ferramentas (STEINLE, 2015).

Os efeitos a exposição pessoal de diferentes poluentes na atmosfera podem ser atribuídos tanto na forma aguda como nas crônicas e podem causar uma grande variedade de efeitos adversos à saúde. (KÜNZLI et al., 2010; HIME et al., 2015; OSTRO et al., 2010). Os efeitos adversos mais frequentes ocorrem no sistema respiratório e circulatório em idosos (SALDIVA et al., 1995; ARBEX et al., 2012; FRANKLIN et al., 2015; POWER et al., 2016), pacientes com doenças crônicas pré-existent, crianças e durante a gravidez, que compõem o grupo mais vulnerável à poluição do ar (SCHWARTZ, 2004; KIM et al., 2015).

Há alguns trabalhos recentes que analisam a associação da exposição com efeitos adversos à saúde (SALDIVA et al., 2013, 2016; HETTFLEISCH et al., 2017; MOREIRA et al., 2018; ARDILES et al., 2017) e que concluem que a maior exposição está ligada a fontes de emissões veiculares. Almeida et al. (2017) analisou o perfil de exposição de voluntários às concentrações em massa e número de MP, e seu potencial dano ao ácido desoxirribonucléico (DNA) de indivíduos das seis principais classes de ocupação da população ativa da cidade de Londrina (administração, comércio, educação, serviços gerais e transporte). Os resultados indicaram que os indivíduos do setor comércio foram os que apresentaram a maior taxa de inalação de MP e maiores danos ao DNA das células bucais analisadas. As altas doses foram associadas à proximidade dos locais de trabalho dos indivíduos desse setor com a rua e ao tráfego de veículos.

Um estudo de Ardilles et al. (2017) onde foram comparados as concentrações de poluentes atmosféricos e o número de internações por idade de doenças respiratórias na cidade de Araucária e Curitiba concluiu que os indivíduos na faixa etária de 0 – 9 anos e idosos acima de 64 anos de idade, possuem um maior risco a exposição de poluentes atmosféricos. E a cidade de Araucária apresentou o maior número de internações, o que pode estar associado ao grande número de indústrias e menor índice de desenvolvimento humano na cidade.

### **2.3 Poluição Atmosférica e Transporte Público**

Uma das opções mais importantes para a redução de emissões de poluentes atmosféricos, é a utilização de transportes públicos (CHAPMAN, 2007; BLACK e BLACK, 2009). Em muitas cidades, a utilização de ônibus como transporte público é a forma mais comum de deslocamento diário, contribuindo com a urbanização. Há estudos recentes na literatura visando avaliar a exposição em transportes públicos. Alguns são focados nos deslocamentos de automóveis ou comparam diferentes tipos de transportes em relação às concentrações de poluentes atmosféricos (DIRKS et al., 2012; MORENO et al., 2015; RIVAS et al., 2017; TARGINO et al., 2017; MOREIRA, 2018), ou ainda são estudos focados na poluição atmosférica em horários de pico do tráfego (XU et al. 2015; LIM et al., 2015). Determinados estudos se concentram na exposição dos passageiros nas paradas, cabines dos veículos e outros na exposição pessoal em diferentes épocas do ano e em diferentes microambientes (YANG, et al., 2015; SPINAZZÈ et al., 2015; XU et al., 2015; STEINLE et al., 2015). Um estudo mediu as concentrações de poluentes dentro de transportes públicos antes e depois da instalação de um novo sistema de transporte rápido de ônibus, que tiveram como referência o sistema de Curitiba com “corredores rápidos” e os resultados indicaram uma diminuição na exposição dos indivíduos aos poluentes devido a esses corredores (WÖHRNSCHIMMEL et al., 2008).

No estudo de Moreira et al. (2018) que analisa a exposição pessoal ao  $MP_{2,5}$ , BCe e a sua composição química de várias atividades humanas típicas, e também análise de rotas de transporte público. Obteve-se como resultado concentrações parecidas de  $MP_{2,5}$  para ônibus e carro, enquanto a fração de BCe foi maior para o grupo de ônibus. Foi identificado um potencial nocivo à saúde das pessoas durante os deslocamentos e nos locais de trabalho próximos ao trânsito. Rivas et al. (2017) comparou os poluentes  $MP_1$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$  e BC em transportes

rotineiros como carros, ônibus e metrô em quatro diferentes áreas em Londres, e foi encontrado valores de concentração mais altos no metrô, seguido de ônibus e carros.

Alguns estudos em Hong Kong investigaram níveis de exposição à poluição por passageiros. Chan et al. (2002) mediram as concentrações de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  em quatro diferentes modos de transporte, incluindo o sistema ferroviário e os ônibus. Wong et al. (2011) mediram o monóxido de carbono e as concentrações de  $MP_{2,5}$  dentro de cabines de ônibus em Hong Kong. Estes estudos anteriores demonstraram claramente que o  $MP_{2,5}$  exibia características diferentes em comparação com microambientes e ambientes externos.

No entanto, os fatores que influenciam as concentrações externas de poluentes, tais como volume de tráfego, infraestrutura rodoviária, morfologia urbana e como estes afetam a qualidade do ar dentro do ônibus, ainda não foram muito bem estabelecidos (KUMAR et al., 2014). Além disso, os estudos existentes para a cidade de Curitiba, são focados na relação entre poluição do ar e saúde pública (BAKONYI et al., 2004; ARDILES et al., 2017; POLEZER et al., 2018) ou na poluição do ar relacionada a aspectos da urbanização (DANNI-OLIVEIRA, 2000). Não existem estudos no Brasil que visam aprofundar a composição química elementar do  $MP_{2,5}$ , material particulado fino, e a exposição pessoal da população em transportes públicos, ainda mais se tratando da cidade de Curitiba, que é uma referência mundial como capital em qualidade ambiental e modelo de transporte público (MIRANDA, 2010).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.3 Objetivo Geral

O presente estudo, tem como finalidade analisar a exposição pessoal ao MP e determinar sua composição elementar, assim como, o número de partículas respiráveis, no ambiente das principais rotas de deslocamentos da população, usuária de transporte público na cidade de Curitiba.

#### 3.3 Objetivos específicos

- a) Medir e coletar  $MP_{2,5}$  em rotas do transporte público da cidade de Curitiba com maior fluxo de pessoas;
- b) Analisar a composição química elementar do  $MP_{2,5}$  por meio da técnica de Fluorescência de Raios X;
- c) Analisar a concentração de  $BC$  por meio de medidas de refletância;
- d) Calcular a dose inalada, em massa e em número de partículas, e comparar os valores obtidos entre as rotas e nos horários de pico e não pico;

## 4. METODOLOGIA

### 4.3 Área de Estudo

O estudo foi realizado na cidade de Curitiba, que compõe a Região Metropolitana de Curitiba (RMCT), a qual está localizada a 25°25'40" sul e 49°16'23" oeste. É a capital do estado do Paraná, conhecida por ser um exemplo de cidade em desenvolvimento e referência no seu sistema de transporte público, com 1,89 milhões de habitantes e com uma área de 435.036 km<sup>2</sup> (IBGE, 2015). Possui Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,823, sendo maior que a média do Brasil de 0,727 (PNUD, 2010) e se encontra na 10ª melhor posição no Produto Interno Bruto (PIB) entre as cidades brasileiras.

Curitiba pertence ao bioma da Mata Atlântica e possui um clima temperado (*Cfb* de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger). Os invernos são brandos com geadas ocasionais e temperaturas mínimas de aproximadamente -3°C. No verão são registradas temperaturas de até 35°C. A umidade relativa do ar varia entre 75 e 85% (média mensal). As precipitações ocorrem durante o ano inteiro, uma particularidade do município, favorecendo a diminuição de poluentes suspensos na atmosfera. Na média são registradas chuvas de 150 mm/mês no verão e 80 mm/mês no inverno (SIMEPAR, 2016).

Com um crescimento urbano cada vez maior, o plano da cidade foi uma série de revisões do Plano Diretor que levaram a uma inovação no sistema de transporte de massa capaz de fornecer a futuras demandas, bem como medidas para preservar o patrimônio da cidade e as áreas verdes. Este processo de planejamento, que tem atraído mundialmente atenção como modelo de desenvolvimento urbano sustentável, é baseado sobre o princípio de que o uso da terra na cidade pode ser induzido, restrito e organizado. Considerando a longa história do planejamento urbano local e a importância das considerações de sustentabilidade nesse processo, é considerado essencial para desenvolver ferramentas inovadoras para o clima urbano análise que poderia ter uma aplicação no crescimento futuro de Curitiba (KRÜGER et al., 2011).

A cidade de Curitiba, principalmente na década de 70, passou por um processo de urbanização acelerada, em grande parte provocada pelo êxodo rural, oriundo da substituição da mão-de-obra agrícola pelas máquinas. Sua economia tem crescido a taxas superiores à média nacional. De 2010 a 2013 o PIB da cidade apresentou um crescimento superior a 37%, saltando de R\$ 58,0 bilhões, em 2010, para R\$ 79,4 bilhões, em 2013 (IBGE, 2010). A economia do

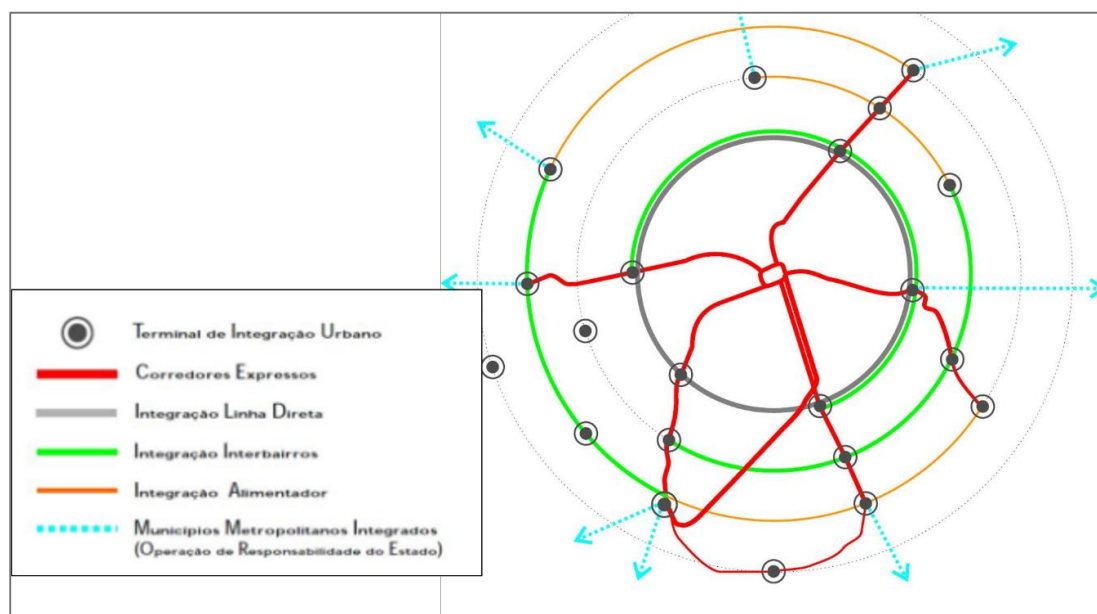
município está concentrada no setor de serviços (comércio, saúde e educação pública), seguida do setor industrial, possuindo indústrias de grande porte no município.

Segundo dados do Detran de agosto de 2017, o município de Curitiba possui uma frota veicular total de 1.400.772, sendo 960.967 de carros, 125.850 de motos e 6.139 de ônibus, sendo 0,43% da frota de ônibus destinada ao transporte público. A frota veicular da cidade possui idade média de 10 anos, sendo que a maioria do combustível veicular utilizado consiste de gasolina, etanol e o diesel.

As principais fontes de emissões de poluentes atmosféricos, segundo o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) no município são as fontes fixas (industriais), emitindo cerca de 2.035,07 ton/ano de MP e 10.105,325 ton/ano de CO. Seguido das fontes móveis (veículos) que emitem 793,37 ton/ano de MP e uma quantidade 6 vezes maior de CO, se comparadas com as fontes fixas, de 62.457,06 ton/ano.

### **4.3 Sistema de transporte público de Curitiba**

Curitiba é a cidade conhecida pela inovação do sistema público de transportes, se destacando pela organização e planejamento diferenciado e servindo como modelo para muitas outras cidades. A Rede Integrada de Transporte Coletivo de Curitiba (RIT) (Figura 3) é um processo de integração que ocorre a partir de terminais de integração, onde o cidadão pode desembarcar de uma linha e embarcar em qualquer outra dentro daquele espaço (terminais e estações tubo) sem um novo pagamento da tarifa de ônibus (URBS, 2016). O transporte público, é um dos principais meios de transporte da capital, transportando cerca de 1.620.000 passageiros em dias úteis, sendo 740.000 passageiros pagantes equivalentes. O sistema de transporte coletivo urbano possui 250 linhas de ônibus, 342 estações tubo e 21 terminais (URBS, 2016). No total, são 1.290 ônibus na RIT, com idade média da frota de 10 anos. A partir do dia 28 de agosto de 2009, foram introduzidos os seis dos primeiros 14 ônibus a rodar só com biodiesel, sem a mistura do diesel.



**Figura 3:** Esquema da Rede Integrada de Transporte de Curitiba – RIT (URBS)

O sistema de transporte de Curitiba consiste em 10 categorias de ônibus, sendo 6 categorias classificadas como normais e 4 categorias classificadas como especiais. De acordo com a URBS, as categorias do sistema normal de transporte são as seguintes:

Categoria Expresso: Veículos tipo biarticulados, na cor vermelha que ligam os terminais de ligação no centro da cidade e com paradas em nível das estações tubo existentes no trajeto.

Categoria Interbairros: Veículos tipo *padron* (Padronização dos Ônibus Urbanos) ou articulados, na cor verde, que ligam os diversos bairros e terminais, sem passar pelo centro da cidade.

Categoria Linha Direta: Veículos tipo *padron*, na cor prata, com paradas em média a cada 3 km, com embarque e desembarque em nível nas estações tubo. São linhas complementares, principalmente das linhas expressas e interbairros.

Categoria Ligeirão: Veículos biarticulados com 28m de comprimento, na cor azul, com número reduzido de paradas. Proporcionam deslocamentos mais rápidos. Embarque e desembarque são feitos em nível em terminais e estações tubo.

Categoria Alimentador: São operadas por veículos tipo micro, comum ou articulados, na cor laranja, que ligam terminais de integração aos bairros da região.

Categoria Troncal: Operam com veículos tipo *padron* ou articulados, na cor amarela, que ligam os terminais de integração ao centro da cidade, utilizando vias compartilhadas.

E dentro das linhas especiais:

Categoria Circular centro: Operada com veículo tipo micro-ônibus, atende os principais pontos atrativos da região central de Curitiba, tais como praças, shoppings, estação rodoviária e Biblioteca Pública. Apresenta tarifa diferenciada.

Categoria Convencional: Operam com veículos tipo micro-ônibus ou comum, na cor amarela, que ligam os bairros ao centro, sem integração.

Categoria Linha-Turismo: Com saída do centro, passa pelos principais parques e pontos turísticos da cidade (tarifa diferenciada).

Categoria Sites: Sistema Integrado de Transporte do Ensino Especial. Atende aos alunos da rede de escolas especializadas para deficientes físicos e/ou mentais de Curitiba, sem custo para estes usuários.

No estudo foram selecionadas rotas das categorias: Expresso, Interbairros, Ligeirão e Linha-Direta (Figura 4) classificadas como normais, ou seja, linhas que circulam normalmente em toda a cidade e que todo cidadão pode utilizar, diferente das especiais.



**Figura 4:** Ilustração das categorias de ônibus selecionados no estudo.

#### 4.2.1 Seleção das Rotas

Para seleção das rotas (origem-destino) usadas como base nas medições de exposição pessoal ao MP no município, foi utilizada a seguinte estratégia; primeiro foram selecionadas as rotas com o maior fluxo de pessoas com base em dados estatísticos, fornecidos pela URBS. Em



seguida, foram analisadas as origens e destinos (trajetos) das rotas de forma a abranger todas as regiões da cidade de Curitiba, por meio de análise dos trajetos georreferenciados. Por fim, foram selecionadas quatro categorias de ônibus diferentes nessas rotas selecionadas: categoria expresso, categoria interbairros, categoria linha-direta e categoria ligeirão.

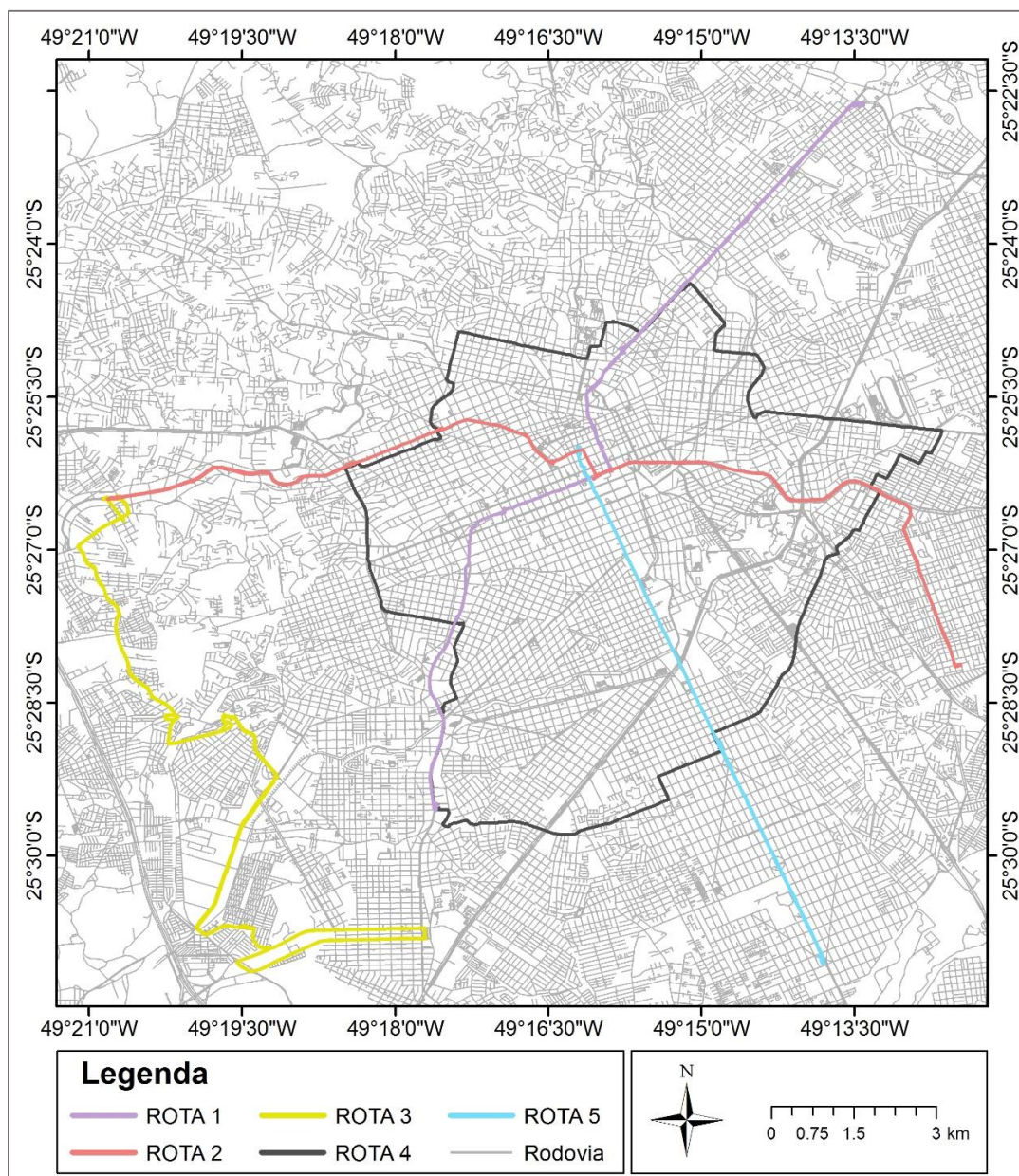
Foram selecionadas, para o estudo da exposição pessoal, um total de cinco rotas de ônibus de transporte urbano (Figura 5). Na tabela 1, é mostrado sua origem, destino, categoria, distância, o número de medidas para os horários de não pico e pico e número de passageiros por dia.

**Tabela 1:** Características das rotas de ônibus de transporte público selecionadas.

Rota	Código	Origem	Destino	Categoria de ônibus	Distância (km)	Medidas		Passageiros/dia
						Não Pico	Pico	
1	203	Santa Cândida	Capão Raso	EXPRESSO	32,90	9	9	177.991
2	303	Centenário	Campo Comprido	EXPRESSO	36,37	8	6	107.367
3	040	Campo Comprido	Santa Felicidade	INTERBAIRROS	45,89	9	8	46.000
4	022/023	Terminal Campina do Siqueira	Terminal Campina do Siqueira	LINHA DIRETA	37,80	8	9	45.872 / 45.407
5	500	Praça Carlos Gomes	Terminal Boqueirão	LIGEIRÃO	20,64	7	9	37.242

A Rota 1, de maior fluxo de pessoas, circula de Santa Cândida, região nordeste e vai para Capão Raso, região sudoeste do município, passando pela região central, onde possui uma grande circulação de pessoas e de veículos automotores. A Rota 2, segunda maior em volume de pessoas transportadas, circula de Centenário, região leste até Campo Comprido na região oeste da cidade, também passando pelo centro da cidade onde cruza com a Rota 1. A Rota 3, percorre toda a região oeste de Curitiba, circulando da região noroeste a sudoeste e vice-versa.

É uma rota de uma região afastada do centro, mas ela pertence a área da Cidade Industrial de Curitiba (CIC). A Rota 4, circula em movimentos circulares horários e anti-horários, passando pela maioria das regiões de Curitiba (Norte, Sul, Leste e Oeste), dos bairros da cidade parando em seus terminais, mas não passa pela região central. A Rota 5, circula saindo de uma das praças centrais de Curitiba (Praça Carlos Gomes) e vai em sentido linear para o terminal Boqueirão na região sudeste.



**Figura 5:** Trajeto percorrido pelas linhas de ônibus de transporte público selecionadas.

### 4.3 Desenho da amostragem e instrumentação utilizada

O foco deste trabalho foi a avaliação e medição da exposição da população aos poluentes particulados nas rotas selecionadas. Os poluentes gasosos também constituem ameaça importante para a saúde humana, mas por razões práticas e por seu potencial efeito à saúde, das partículas as medidas foram concentradas nas concentrações de  $MP_{2,5}$  e de número de partículas (NP). O  $MP_{2,5}$  foi também coletado em filtros para análise da concentração de *BC* (neste estudo denominado *BCe* pelo método de análise utilizado) e da composição elementar. As rotas foram todas georreferenciadas com o auxílio de GPS. A Tabela 2 sumariza as informações sobre os equipamentos utilizados e análises realizadas durante a pesquisa.

**Tabela 2:** Informações sobre os equipamentos utilizados e análises realizadas durante a pesquisa.

EQUIPAMENTO	FILTRO	TEMPO DE COLETA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR	BCe
<b>ETAPA 1 - 18/10/2016 – 24/11/2016</b>				
MIE pDR 1500	PTFE	8h / Filtro	ED-XRF	Refletância
MetOne 804	----	Enquanto o pDR estava ligado	----	----
GPS	----	Enquanto o pDR estava ligado	-----	-----
<b>ETAPA 2 - 02/03/2017 – 11/04/2017</b>				
MIE pDR 1500	PTFE	8h / Filtro	ED-XRF	Refletância
MetOne 804	----	Enquanto o pDR estava ligado	----	----
GPS	-----	Enquanto o pDR estava ligado	-----	----

Foram realizadas medidas e coletas em horários de pico de trânsito e circulação de passageiros (17:00 – 19:30) e de não pico de trânsito e circulação de passageiros (9:00-12:00 e 13:00-17:00) em dias de semana, excluindo feriados e dias com chuva intensa. Todas as medidas foram realizadas entre 9:00 e 19:30. As amostragens foram realizadas nos períodos de 18/10 a 24/11 de 2016 (etapa 1) e 02/03 à 11/04 de 2017 (etapa 2), totalizando 240 horas. Foram

realizadas amostragens nas cinco rotas selecionadas, sendo 48 horas em cada uma. Além das medidas das concentrações de MP<sub>2,5</sub> e NP, foram coletados MP<sub>2,5</sub> em três filtros, sendo que para obter a massa mínima necessária coletada em cada filtro era preciso 8 horas de coleta. Portanto, diversas medidas na rota foram realizadas até obter 8 horas de coleta de MP<sub>2,5</sub>, para cada rota, nos períodos de pico e não pico.

Foi utilizada uma mochila para auxiliar o transporte dos equipamentos portáteis (Pdr 1500, MetOne 804 e GPS Data Logger) com *inlet* externo, fixado na alça, próximo aos ombros, posicionado na zona de respiração, conforme Figura 6 (KAUR, et al., 2005; KAUR et al., 2007; McNABOLA et al., 2008; STEINLE et al., 2013). A mochila foi carregada na parte de trás ou da frente do corpo do analista (S.M.M.C) durante os trajetos realizados em pé ou, quando possível, sentada. Os instrumentos eram ligados no terminal de ônibus Campina do Siqueira, denominado de origem, e desligados no final da rota, na saída do terminal do destino final. As viagens eram geralmente bimodais, uma vez que elas precisavam de conexões de ônibus, paradas em terminais e pequenas caminhadas para concluir o percurso. Portanto, nessas viagens, foram incluídos diferentes sub-microambientes, de forma similar as rotas tipicamente realizadas pelos usuários nos seus deslocamentos diários. Todos os ônibus dos trajetos não possuíam ar condicionado e sempre estavam de janelas parcialmente ou totalmente abertas, conforme diário de observação feito no momento de cada medida.

Foi utilizado um diário de viagem, onde foi registrado o tempo para todos os movimentos (hora de início / fim da viagem, hora de chegada no terminal e identificação dos principais sub-microambientes) que afetaram a exposição durante o trajeto.



**Figura 6:** a) Mochila contendo os equipamentos portáteis (Pdr 1500, MetOne 804 e GPS Data Logger) com o inlet externo, fixado na alça. B) Equipamento pessoal MIE pDR-1500 (Thermo Fisher Scientific). c) Filtro de PTFE (PALL Corporation) com 37 mm d) Contador de partículas de quatro canais, modelo 804 da marca Met One Instruments.

Para a coleta de  $MP_{2,5}$  foi utilizado o equipamento pessoal MIE pDR-1500 (Thermo Fisher Scientific), e selecionado o ciclone referente às partículas de até  $2,5 \mu m$  (Figura 6). O equipamento realiza medições de concentração de partículas pelo método de espalhamento de luz, onde a quantidade de luz dispersa é convertida em leituras de concentração das partículas utilizando a teoria de dispersão da luz. Simultaneamente, o equipamento recolhe as partículas em um filtro para determinação da concentração em massa pelo método gravimétrico.

O coeficiente de espalhamento utilizado pelo MIE pDR-1500 é de aproximadamente  $1,5 \times 10^{-6}$  para  $0,6 m^{-1}$ , com comprimento de onda de 880 nm. A resolução temporal foi de 60 segundos, com fluxo de  $3 L min^{-1}$ .

O equipamento foi configurado para registrar a temperatura ( $^{\circ}C$ ), umidade relativa (%) e pressão atmosférica (hPa). O MIE pDR-1500 possui faixa de medição de  $0,001 mg m^{-3}$  a  $400 mg m^{-3}$ , com precisão de  $\pm 5\%$ . Os equipamentos foram calibrados em 12/03/2015 pela empresa Environmental Instruments Division, sob os números de séries CM 15441032 e CM 15441030.

A amostragem pessoal utilizou filtros de membrana de PTFE- Politetrafluoretileno (PALL Corporation) com 37 mm de diâmetro e poros de  $2,0 \mu m$ , com eficiência de coleta de

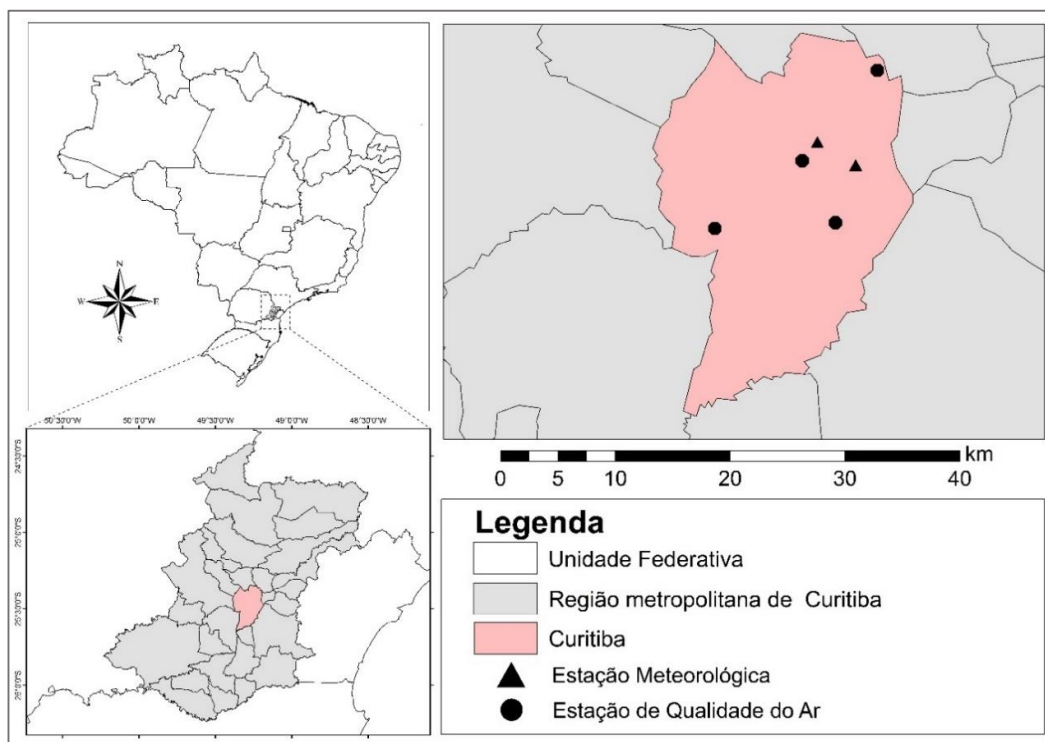
99% para partículas de até 0,3  $\mu\text{m}$  de tamanho. Como mencionado, o tempo de coleta para cada filtro foi em torno de 8 horas para obtenção de massa suficiente para posterior análise da composição química elementar e *BCe* (MASSEY et al., 2013; PARK et al., 2008). Antes das pesagens os filtros foram colocados em placas de Petri e alocados em sala específica com temperatura e umidade relativa do ar controladas (temperatura de 20°C e umidade relativa do ar de 30 a 40%  $\pm$ 5%) para equilíbrio de umidade por pelo menos 24 horas (MARTINS et al., 2012; LIU et al., 2015).

Para a pesagem foi utilizada uma balança eletrônica micro analítica de precisão nominal de 1  $\mu\text{g}$ , modelo MX5 (Mettler Toledo), pertencente ao Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos (LAPAt/IAG/USP). Antes das pesagens, propriamente, os filtros foram descarregados eletrostaticamente, por meio de um neutralizador de carga estática Haug (Mettler Toledo), uma vez que eventuais forças elétricas, mesmo que pequenas, podem influenciar a medida da massa. Todos os filtros foram pesados em duplicata antes e após a amostragem.

O contador de partículas de quatro canais usado foi o modelo 804 da marca Met One Instruments. Este equipamento realiza automaticamente a contagem das partículas dispersas no ar. Por exemplo, faz medida do número de partículas superiores a 0,3 micrometros de diâmetro aerodinâmico, existentes em um metro cúbico de ar. Ele possui bomba própria e é programável, permitindo que seja escolhido o tamanho das partículas de interesse. Neste trabalho foram escolhidos, por meio de configuração do equipamento, os diâmetros de corte do tamanho das partículas de: 0,3; 0,5; 1,0 e 2,5  $\mu\text{m}$  e resolução temporal de 1 minuto. O georreferenciamento das rotas foi realizado utilizando o GPS DG-100 Data Logger, da marca Global Sat, o qual captura dados de latitude e longitude com resolução temporal de 5 segundos.

### **4.3 Dados Meteorológicos e de qualidade do ar**

Os dados meteorológicos foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que possui uma estação em Curitiba (lat. 25,43° S, long.49,26° W) e do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) que possui também uma estação em Curitiba (lat. 25,448° S, long. 49,230° W), mostradas na Figura 7 a seguir.



**Figura 7:** Localização do Município de Curitiba e das estações meteorológicas e estações de Qualidade do ar.

Para realização da análise de caracterização climatológica do município de Curitiba, foram utilizados dados horários de temperatura média, umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação e velocidade e direção do vento fornecidos pela estação do INMET em Curitiba do período de 1970 a 2010.

### 4.3 Dados da Qualidade do Ar

Atualmente são doze estações de amostragem do ar espalhadas pela Região metropolitana de Curitiba (RMC), mais precisamente em Curitiba e no município de Araucária, das quais oito delas são automáticas. No presente estudo, foram utilizados dados da qualidade do ar somente das estações automáticas dentro do município de Curitiba nos períodos de amostragem em 2016 e 2017. No total são quatro estações localizadas em Curitiba (Cidade Industrial - CIC, Santa Cândida, Boqueirão e Praça Ouvidor Pardinho - Convênio de Cooperação Técnica IAP/LACTEC – Figura 7, analisando de 30 em 30 segundos os poluentes ozônio ( $O_3$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), monóxido de carbono (CO), partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis (PI).

Dados horários foram utilizados para a caracterização da qualidade do ar no período de amostragem e para comparação com as concentrações nas rotas.

### 4.3 Análise de *BCe* e da composição química elementar

#### 4.6.1 *Black Carbon equivalente – Bce*

A determinação da concentração de *BCe* foi feita seguindo o método de refletância de luz. O equipamento utilizado foi um refletômetro Modelo 43 (M43D) da Diffusion Systems Ltda. Ele é composto de um foto-sensor, placa padrão com padrão branco e cinza e uma cabeça de medição. O padrão cinza é feito de particulados de origem urbana. Segundo Lack et al., (2014), este método não mede 100% do *Black Carbon* presente na amostra. Desta forma, é recomendado o uso do termo *Black Carbon* Equivalente (*BCe*) quando se refere a medida da massa derivada do coeficiente de absorção (PETZOLD et al., 2013; BEAL, 2015).

As medidas de refletância seguiram a metodologia descrita por Beal (2015) e Moreira (2018). Com as medidas das refletâncias, realizada em duplicada em cada filtro, foram calculadas as concentrações utilizando a equação obtida por Hetem (2014), que abrange uma faixa de 2% a 94%, conforme abaixo. Posteriormente Beal (2015) utilizou e validou a metodologia para filtros de PTFE.

Foram selecionados cinco filtros controle, para ajuste do equipamento em 100% de refletância. O filtro controle principal, foi aquele que apresentou o menor desvio padrão, e foi utilizado na recalibração de todas as medidas dos filtros amostrados.

Após a calibração, foram realizadas leituras dos filtros amostrados utilizando o método dos cinco pontos, este consiste em realizar a leitura em cinco pontos diferentes do filtro, com intuito de analisar toda a área do filtro. Com a obtenção das medidas de refletância, a concentração de *BCe*, em  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

$$BCe = \frac{(0,3724 \times e \left( 5,52 - \frac{0,51}{\ln(R)} \times e^{(0,84 \times \ln(R))} \right)) \times A}{V}$$

Onde, o *BCe* é a concentração de *Black Carbon* equivalente em  $\mu\text{g m}^{-3}$ , R é a refletância (%), o *e* é a função exponencial, o valor de 0,3724 equivale a proporção entre o



carbono elementar e o carbono total, o  $A$  é a área do filtro (em  $\text{cm}^2$ ) e o  $V$  o volume de ar amostrado (em  $\text{m}^3$ ).

### 4.3 Análise da composição Química elementar

A análise elementar foi feita por fluorescência de raios X (XRF) que se baseia na medida das intensidades dos raios X característicos (número de raios X detectados por unidade de tempo) emitidos pelos elementos presentes em determinada amostra, quando excitada.

A técnica fluorescência de raios X por dispersão de energia (ED-XRF) tem sido amplamente utilizada para determinação de composição química elementar do MP (EPA guidelines, ANDRADE et al., 2012; MOREIRA, 2018). Os limites de detecção são da ordem de 1 a 20 ppm para amostras sólidas, e de 1 a 20 ppb para amostras líquidas (NASCIMENTO FILHO, 1999; MORAES, 2009). A técnica possibilita a determinação simultânea de vários elementos em amostras sólidas, sem a necessidade de destruição da amostra ou de pré-tratamento.

A técnica de ED-XRF foi utilizada para analisar os filtros de PTFE empregados na amostragem pessoal. O equipamento pertence ao Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos (LAPAt/IAG/USP), modelo espectrômetro Rigaku, EDX 700 (Shimadzu Corporation, Analytical Instruments Division). O espectrômetro opera a 5–50 KV e 1–1,000  $\mu\text{A}$ , onde os raios X são emitidos de um tubo de ródio, que excitam os elementos constituintes da amostra, levando aproximadamente 25 minutos a análise de cada amostra. A radiação de raios X característica é, então, medida com um detector de Si(Li). Dessa análise foram obtidos espectros de contagem por energia de raios X, os quais foram convertidos em concentração de cada elemento-traço com a aplicação do programa WinQXAS (Windows Quantitative X-ray Analysis System), disponível a partir do site da Agência Internacional da Energia Atômica (<http://www.iaea.org/OurWork/ST/NA/NAL/pci/ins/xrf/pciXRFdown.php>).

Essa metodologia de análise da composição elementar do  $\text{MP}_{2,5}$  tem sido utilizada em diversos trabalhos do referido Laboratório (ALBUQUERQUE, 2005; VALARINI, 2011; MACHADO, 2012; ANDRADE et al., 2012).

### 4.3 Balanço de Massa

Nesse trabalho foi utilizado o balanço de massa, uma vez que a técnica de fluorescência de raios X não é capaz de identificar o composto químico existente no MP amostrado. Desta forma, utilizou-se 40 fatores de conversão para estimativa das composições moleculares dos óxidos das espécies. Foi estimado o material cristal insolúvel e elementos de combustão, levando em consideração o fato de que as principais espécies inorgânicas que são encontradas esses elementos estão em forma oxidada. Assim foram utilizados os seguintes fatores Al  $\times$  1,88; K  $\times$  1,22; Ca  $\times$  2,2; Ti  $\times$  1,33; V  $\times$  1,31; Mn  $\times$  1,58; Fe  $\times$  1,43; Ni  $\times$  1,27; Cu  $\times$  1,13; Zn  $\times$  1,25. Os valores pelas quais foram multiplicados os elementos são obtidos com base na massa atômica dos elementos (ANDRADE et al., 2012). Por exemplo para o silício a sua forma predominante na atmosfera é SiO<sub>2</sub> assim para o Si é preciso multiplicar por 1,2. Para o sulfato o fator de conversão utilizado foi de S  $\times$  4,13. Todos os elementos têm como referência valores utilizados em outros trabalhos (ALBUQUERQUE, 2005; ANDRADE et al., 2012, MOREIRA, 2017).

### 4.3 Análise da Exposição e Dose Recebida

A avaliação do cálculo da dose inalada pode avaliar a magnitude da exposição dos indivíduos aos poluentes e fornece uma estrutura básica de avaliação de risco a saúde humana (LIU, et al 2015). Foi calculada a dose inalada do poluente, conforme a equação abaixo (U.S. EPA, 1997), utilizando a concentração média das 8 horas amostradas nos filtros:

$$Inalação = \frac{Ca \times TI \times FE \times DE}{(PC \times TM)}$$

Onde, Ca é a concentração no ar de MP<sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), TI, a taxa de inalação ( $\text{m}^3 \text{ hora}^{-1}$ ), DE duração da exposição (hora), PC é a massa corporal do indivíduo (kg) e TM o tempo médio ou período médio em que ocorreram as medidas (hora).

Para TI, foram considerados uma média entre atividade sedentária e uma atividade leve, que de acordo com a USEPA 2011 é  $0,96 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Para as rotas de ônibus, foram considerados PC = 70 kg e DE = 1 hora (Tempo médio gastado nos transportes públicos na cidade de Curitiba

por dia). Além disso, estimamos o coeficiente de risco (CR), o Índice de Perigo (IP) e a Dose de referência a exposição a elementos traço (RET) como:

$$CR = \frac{EXPOSIÇÃO}{RET}$$

$$IP = \sum_1^n CR_i$$

Os valores usados para a Dose de referência a exposição a elementos traço (RET) foram: Zn =  $3,01 \times 10^{-1}$ ; Pb =  $3,52 \times 10^{-3}$ ; Ni =  $5,40 \times 10^{-3}$ ; Mn =  $1,84 \times 10^{-3}$ ; Cr =  $6,0 \times 10^{-5}$  e Cu =  $1,20 \times 10^{-2}$ . A exposição é a concentração média dos elementos traço no ar ( $\text{mg Kg}^{-1} \text{ hora}^{-1}$ ) recomendado pela Superfund Program (USEPA 2011).

### 4.3 Análise Estatística

A análise dos dados obtidos foi desenvolvida de forma exploratória a partir das variáveis estudadas. Foram calculadas medidas de média, mediana, desvio padrão valores máximo e mínimo para todos os dados das rotas. Para a análise de semelhança entre as médias de concentração de  $MP_{2,5}$  e composição elementar, B<sub>Ce</sub> e dose inalada entre as linhas de ônibus, foi utilizado o teste não paramétrico para duas amostras independentes, denominado de teste de Kolmogorov-Smirnov, que verificava a semelhança entre as variáveis analisadas (VIALIA, 2008) através do software R.

Para as variáveis meteorológicas foram calculadas as médias das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, umidade relativa e precipitação utilizando os dados da série histórica de Curitiba com referência de 30 anos (1970 à 2010), fornecidas pelo SIMEPAR. Essa análise foi realizada para avaliar se as condições meteorológicas dos períodos de amostragem estavam dentro da normal climatológica da região.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram organizados fazendo uma breve análise geral das concentrações, seguido de análise e comparação das concentrações de  $MP_{2,5}$  e NP no espaço e no tempo entre as rotas e entre os períodos de pico e não pico. Foi também realizada a análise das concentrações medidas pelas estações automáticas de qualidade do ar, localizadas na cidade de Curitiba. Os resultados e discussão foram finalizados com a composição elementar do  $MP_{2,5}$  e a dose inalada estimada para cada indivíduo exposto no ambiente de estudo. No Apêndice A estão tabeladas as informações sobre o número de medidas realizadas em cada rota, horários e intervalos de concentração de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$ .

Durante o período de amostragem a temperatura média foi de 17,8 °C, a precipitação acumulada foi de 366.6 mm e a umidade relativa média de 78,8%. Essas condições meteorológicas observadas estão dentro da normal climatológica para o período e região, conforme a análise da série de 30 anos utilizada como referência.

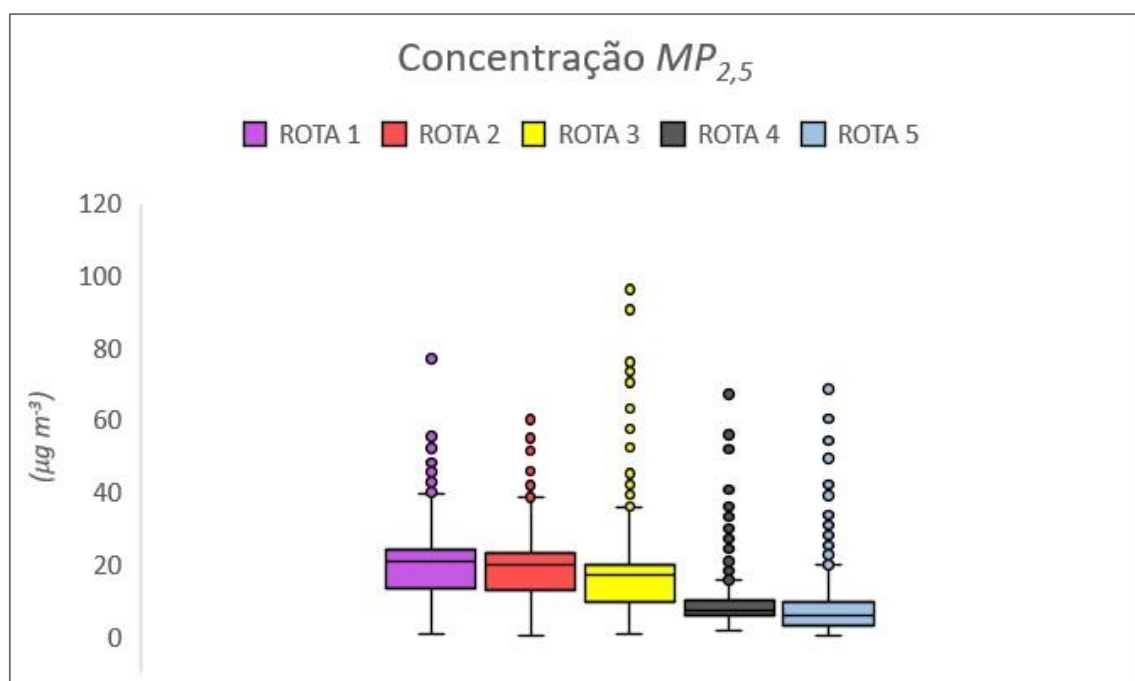
### 5.3 Análise das concentrações em todas as rotas

As concentrações encontradas de  $MP_{2,5}$  variaram de 9,9  $\mu g m^{-3}$  a valores superiores de 23,7  $\mu g m^{-3}$ . Para os números de partículas ( $NP_{0,3}$ ) foram encontrados valores de 200 a 330  $cm^3$ . Os valores de concentração e de número de partículas foram influenciados pelas condições meteorológicas nos períodos de coleta (pico e não pico), pelo tipo de ônibus, pelas rotas percorridas e pelo clima do município (influenciados pelas chuvas e pelo vento). E foi analisado a correlação entre as concentrações e número de partículas para as rotas estudadas. Foram observados vários dias que ultrapassaram o valor da recomendação diária (25  $\mu g m^{-3}$ ) de  $MP_{2,5}$  pela Organização Mundial da Saúde (OMS) durante o período estudado (Figura 8).

As concentrações de  $MP_{10}$ , medidas pelas estações de qualidade do ar de Curitiba, com dados disponíveis nos períodos de amostragens variaram entre 0 e 67  $\mu g m^{-3}$ , com média de 18 e 5  $\mu g m^{-3}$  para duas estações automáticas. Não foi possível fazer uma comparação direta das concentrações ambientais com as de exposição pessoal, pois não são realizadas medidas das concentrações de  $MP_{2,5}$  nas estações, e também não há dados válidos de  $MP_{10}$ , para todas as quatro estações de qualidade do ar nos períodos de amostragem pessoal.

### 5.1.1 Análise entre as rotas

Como podemos observar na Figura 8, que mostra a comparação das concentrações de  $MP_{2,5}$  (sem considerar períodos de pico e não pico) entre as rotas estudadas, as maiores concentrações foram registradas nas rotas 1 e 2. Essas duas rotas são as de maior fluxo de pessoas da cidade de Curitiba, pelas quais circulam em média 142,7 mil indivíduos por dia. Pode-se observar ainda que as concentrações foram decrescendo de acordo com o decréscimo do número de usuários transportados nas rotas. As concentrações registradas em todas as rotas apresentaram grande variabilidade, assim como, diversos valores extremos de concentração de  $MP_{2,5}$ . Os diversos microambientes onde foram feitas as medidas e períodos do dia justificam esse comportamento, também observados em outros trabalhos semelhantes (MOREIRA, 2017; ALMEIDA et al., 2017; RIVAS et al., 2017).

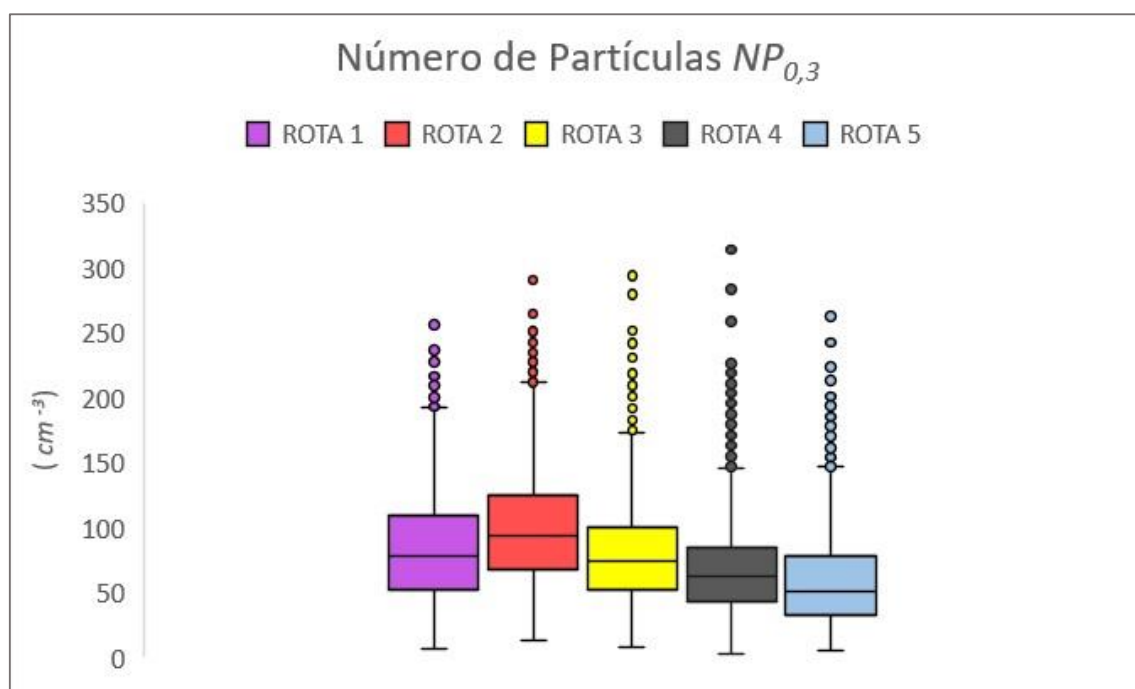


**Figura 8:** Concentração geral de  $MP_{2,5}$  medido nas rotas estudadas. As barras representam o valor mínimo, quartil 1, mediana, quartil 3, valor máximo, média e intervalo.

Em relação as concentrações em número de partículas superiores ao tamanho de  $0,3 \mu\text{m}$ , a Rota 2 apresentou a maior média com 103 partículas por  $\text{cm}^{-3}$  seguidos da Rota 1, Rota 3, Rota 4 e Rota 5 (Figura 9). Podemos entender que o número de partículas não está associado a massa do material particulado disperso na atmosfera, pois, o alto nível de concentração de

MP<sub>2,5</sub> nas rotas, não resultou em maior número de partículas. Como o MP<sub>2,5</sub> tem muito mais partículas finas e ultrafinas que são bem menores em termos de massa, comparado a outras partículas, elas não constituem uma fração significativa de massa explicando o fato desses dois parâmetros (concentração e massa) serem desiguais.

Para os outros diâmetros de corte medidos (0,5, 1 e 2,5 µm) o comportamento foi similar ao NP<sub>0,3</sub>, e menores concentrações em número de partículas de forma coerente ao esperado. De maneira geral, as rotas de ônibus com maiores demandas, ou seja, fluxo de pessoas, foram as que apresentaram as maiores concentrações em massa e número de partículas. Assim como, para MP<sub>2,5</sub> foi registrada grande variabilidade e diversos outliers para a concentração em número.

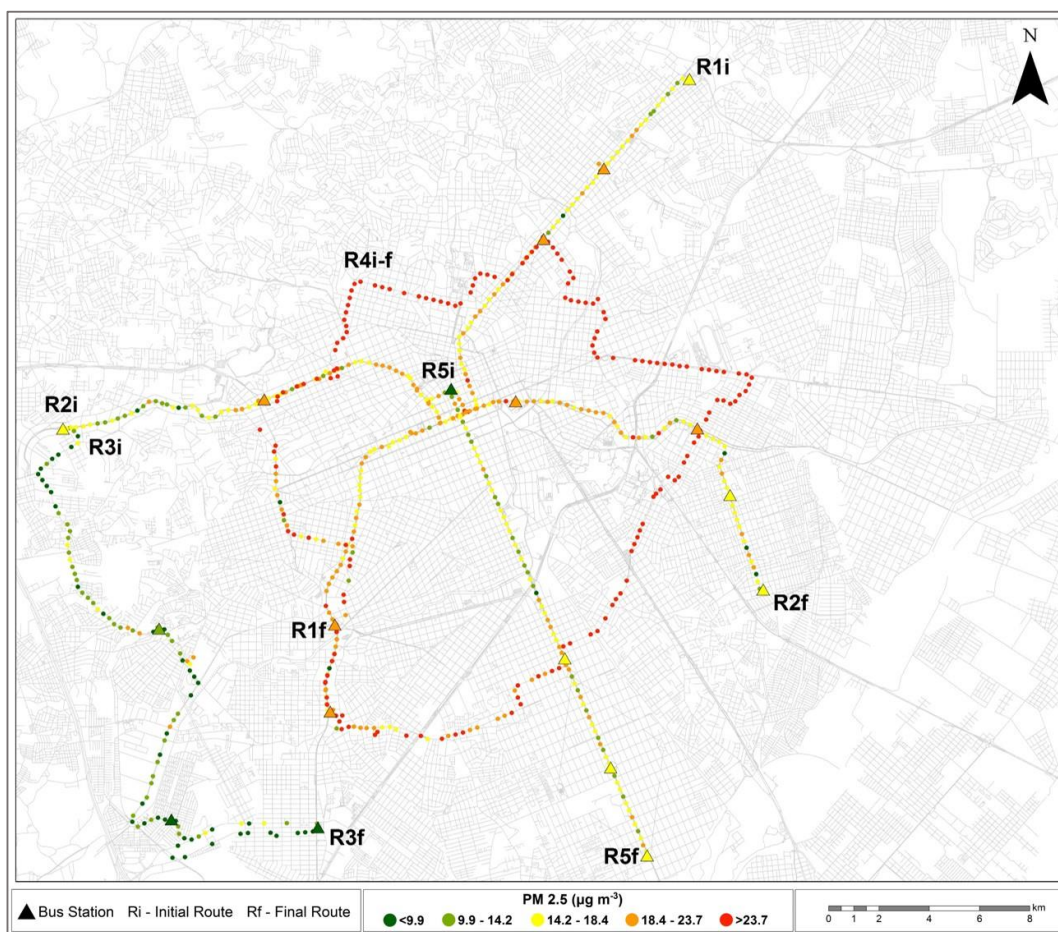


**Figura 9:** Concentração geral de NP<sub>0,3</sub> medidas nas rotas estudadas. As barras representam o valor mínimo, quartil 1, mediana, quartil 3, valor máximo, média e intervalo.

### 5.1.2 Análise entre os períodos de pico e não pico

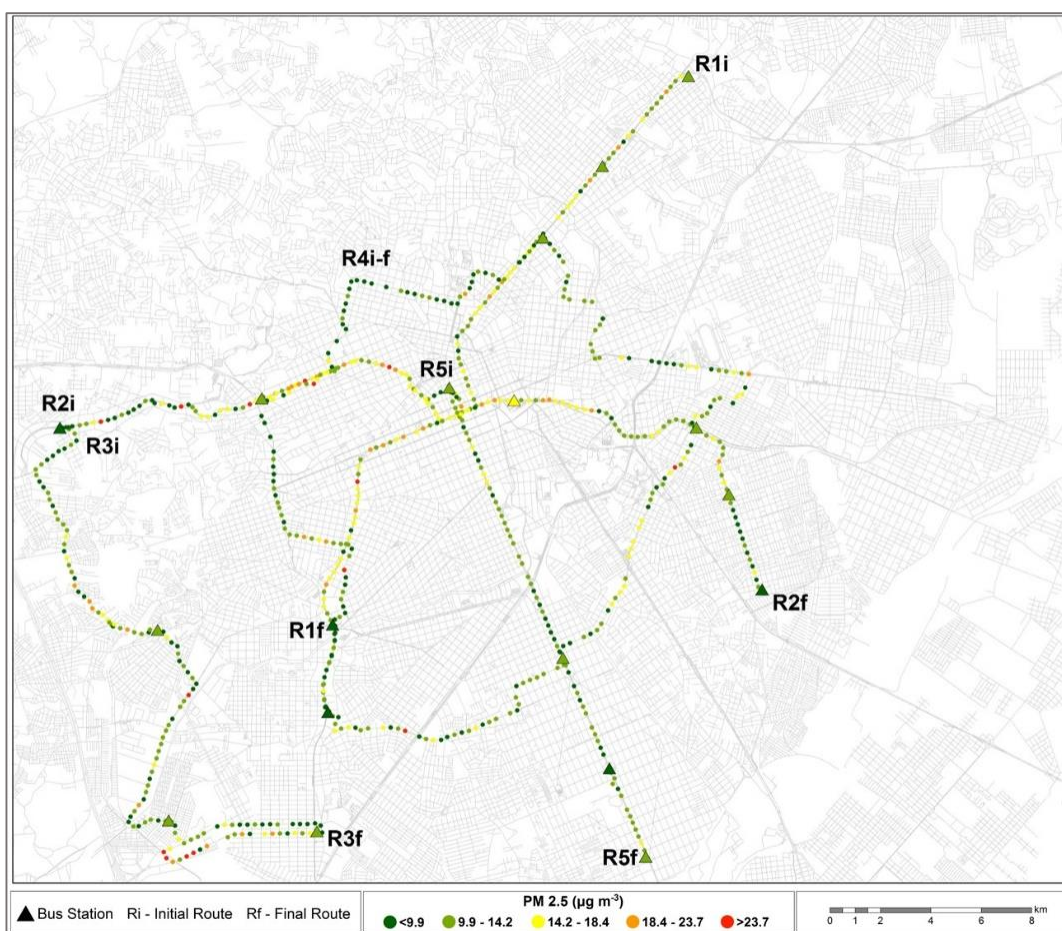
Nas Figuras 10 e 11 podem ser observadas as concentrações médias de MP<sub>2,5</sub> das medidas nas respectivas rotas percorridas nos períodos de pico e não pico. Os valores médios gerais de MP<sub>2,5</sub> encontrados nas coletas para todas as rotas variaram entre 9,9 - 14,3 µg m<sup>-3</sup> à

valores superiores a  $23,7 \mu\text{g m}^{-3}$ . As concentrações no horário de pico, variaram de  $18,4 \mu\text{g m}^{-3}$  a valores superiores a  $23,7 \mu\text{g m}^{-3}$ , no horário de não pico de fluxo de pessoas e trânsito, variaram entre  $9,9$  a  $14,2 \mu\text{g m}^{-3}$ . Para  $\text{NP}_{0,3}$ , no período de não pico variaram de 240 partículas  $\text{cm}^{-3}$  à partículas  $330 \text{ cm}^{-3}$  e para pico de 200 partículas  $\text{cm}^{-3}$  à 300 partículas  $\text{cm}^{-3}$ . No Apêndice A estão as tabelas das concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  e de  $\text{NP}_{0,3}$  de todas as medidas realizadas nas rotas e nos períodos de pico e não pico. Podemos notar, claramente que nos períodos de pico, com maior fluxo de pessoas, as concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  e em número são maiores que em períodos de não pico. A Rota 4 (R4), trajeto que percorre toda a cidade de Curitiba, com intervalos de parada de ônibus a cada 3km, para o período do pico, apresentou as maiores concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  com valores superiores a  $23,7 \mu\text{g m}^{-3}$ . Para o período de pico, também podemos notar que as rotas 1 (R1), 2 (R2) e 5 (R5) também apresentaram concentrações elevadas de  $\text{MP}_{2,5}$ , com valores de  $14,2$  a  $23,7 \mu\text{g m}^{-3}$ .



**Figura 10:** Concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  distribuídas nas rotas percorridas para períodos de pico.

Para o período de não pico, as concentrações registradas foram menores em todas as cinco rotas estudadas, não ultrapassando o valor de  $23,7 \mu\text{g m}^{-3}$  como encontradas no período de pico. Com base nesses resultados podemos verificar que em períodos considerados de pico no município de Curitiba as concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  são maiores fato esse explicado pelo maior fluxo veicular e de pessoas. Por consequência desta movimentação, apresenta maior quantidade de material particulado em suspensão.



**Figura 11:** Concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$  distribuídas nas rotas percorridas para períodos de não pico.

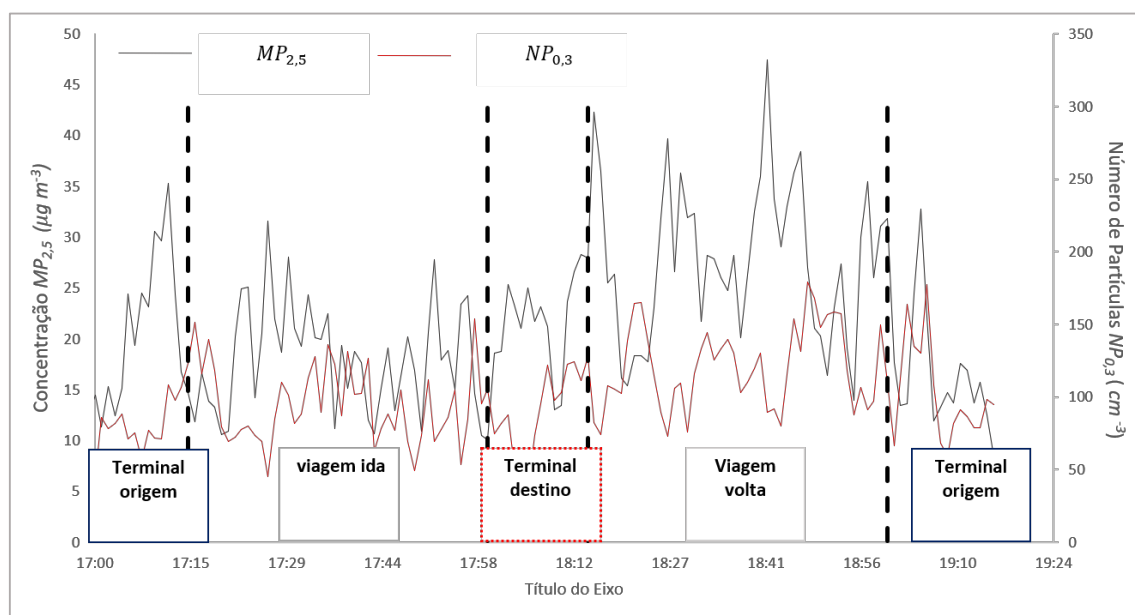
De maneira geral, a rota que mais se destacou por apresentar maiores concentrações de partículas foi a Rota 4 no período de pico, uma das mais importantes do sistema RIT. A rota passa por todas as regiões da cidade, sendo mais propícia aos indivíduos ser expostos a diferentes tipos de poluentes. Uma particularidade desta rota, é que suas paradas geralmente são dentro dos terminais urbanos, onde os ônibus ficam parados por alguns minutos nos



microambientes este influenciado pelas emissões das chegadas e saídas de diversos ônibus. Além disso, é uma rota em constante movimento, isso explica a sua alta concentração no período de pico. A Rota 5 também se destaca pois ela sai de uma das praças mais movimentadas da cidade, chamada Carlos Gomes. A Rota 1 e 2 são umas das principais do sistema de “corredores” onde se ligam no centro da cidade. Nessas três Rotas, a população fica exposta dentro do grande tubo na praça central onde há um grande movimento veicular, e não há circulação de ar. A análise geral de todas as rotas, obteve-se um valor maior para o pico, tanto para suas concentrações, quanto para a massa do filtro analisado. Na figura 11, observa-se a maior concentração na área central da cidade, de onde eram a origem da maior parte das viagens das rotas. Pode-se afirmar que a área central da cidade de Curitiba é onde os indivíduos ficam mais expostos a poluição atmosférica, principalmente pela fonte mais encontrada, que é a veicular. Na parte oeste da cidade, conhecida como CIC (Cidade Industrial), foram registradas as menores concentrações no período de não pico, e concentrações similares com as outras rotas nos períodos de pico.

### 5.1.3 Análise espacial e temporal

Na Figura 12 é mostrado, como exemplo, os valores das concentrações de  $MP_{2,5}$  e de  $NP_{0,3}$  medidos durante uma viagem completa (ida e volta), no horário de pico 17:00 à 19:30. A viagem foi realizada na segunda rota de maior demanda de Curitiba (Rota 2 da linha Centenário / Campo Comprido). O exemplo foi dividido em terminal de origem, viagem de ida, terminal do destino final, viagem de volta e terminal de origem novamente. Na Figura 12 são separados os momentos da viagem onde o medidor estava localizado nos terminais e dentro do ônibus. Podemos observar na figura que os valores das concentrações de  $MP_{2,5}$  e de  $NP_{0,3}$ , apresentam uma boa concordância em todos esses períodos, ou seja, variabilidade similar no espaço e no tempo. O momento da viagem de volta se destaca por apresentar valores muito mais altos para ambas medidas, chegando a  $47,5 \mu\text{g m}^{-3}$  de concentração de  $MP_{2,5}$  e  $179,9 \text{ cm}^{-3}$  para  $NP_{0,3}$ . Esses valores elevados de concentração observados estão associados ao período de realização das medidas (18:00 às 19:00), período este onde possui o maior fluxo de veículos, pessoas e congestionamento, resultando em maior emissão de poluentes. Por conseguinte estes se dispersam pelo ambiente atingindo o interior dos ônibus, que estão na maioria das vezes de janelas abertas e ficam sempre muito tempo parados devido ao trânsito.



**Figura 12:** Concentrações dos valores de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$  medidos durante uma viagem realizada no horário de pico (ROTA 2).

### 5.3 Medidas e análises das Rotas

Nas figuras abaixo são mostradas todas as medidas feitas para a amostragem de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$  para todas as cinco rotas em períodos de não pico e de pico. Devido a distância das rotas e das suas particularidades, foram realizados diferentes números de medidas e para cada medida, diferentes números de viagens para cada rota. Mas independentemente do número de medidas, para cada filtro foi completado 8 horas de coleta, a massa necessária para as análises. No apêndice A estão detalhadas todas as medidas, horas e concentrações de MP e NP encontradas para as cinco rotas. Alguns dados não foram válidos por terem sido negativos ou pelo fato da bateria do instrumento ter acabado. De qualquer forma as coletas foram realizadas para a massa do filtro.

A Rota 1, de maior fluxo de pessoas, circula de Santa Cândida, região nordeste e vai para Capão Raso, região sudoeste do município, passando pela região central, onde possui uma grande circulação de pessoas e de veículos automotores. Nessa rota foram feitos 9 medidas no período de Pico e 8 medidas no período de não pico. Sua distância é de 32,9 km, demorando em cerca de 40 min à uma hora para ser completada a viagem de ida e volta do ponto exato de origem. Ela é realizada por ônibus da categoria expresso, ou seja, os ônibus que são

biarticulados nas cores vermelhas e cortam a cidade apenas passando pelos corredores da RIT fazendo paradas em níveis de tubo e terminais. No período de pico suas concentrações variaram de  $31,79 - 76 \mu\text{g m}^{-3}$  e no período de não pico variou de  $17 - 57$  para as concentrações mais altas.

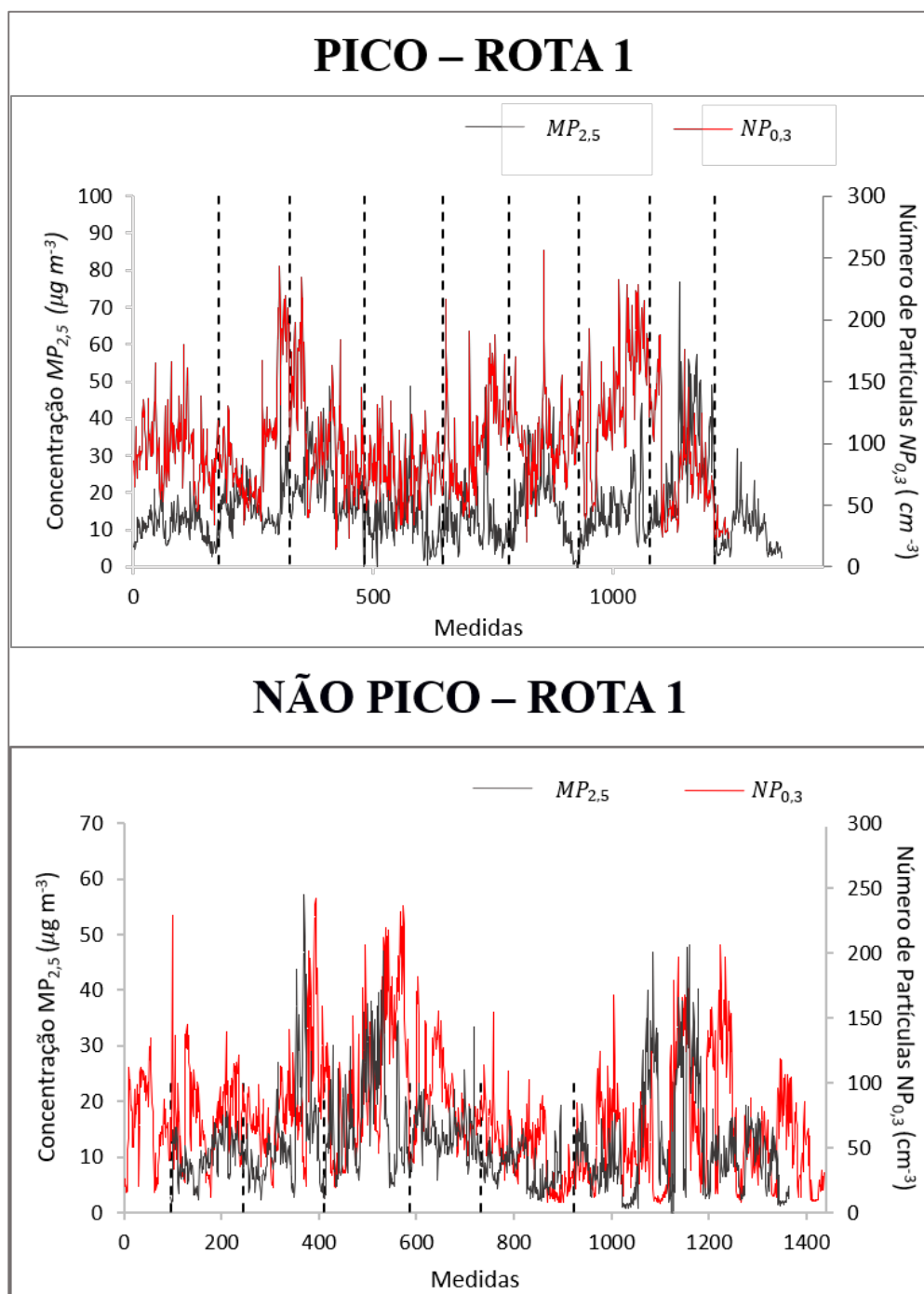
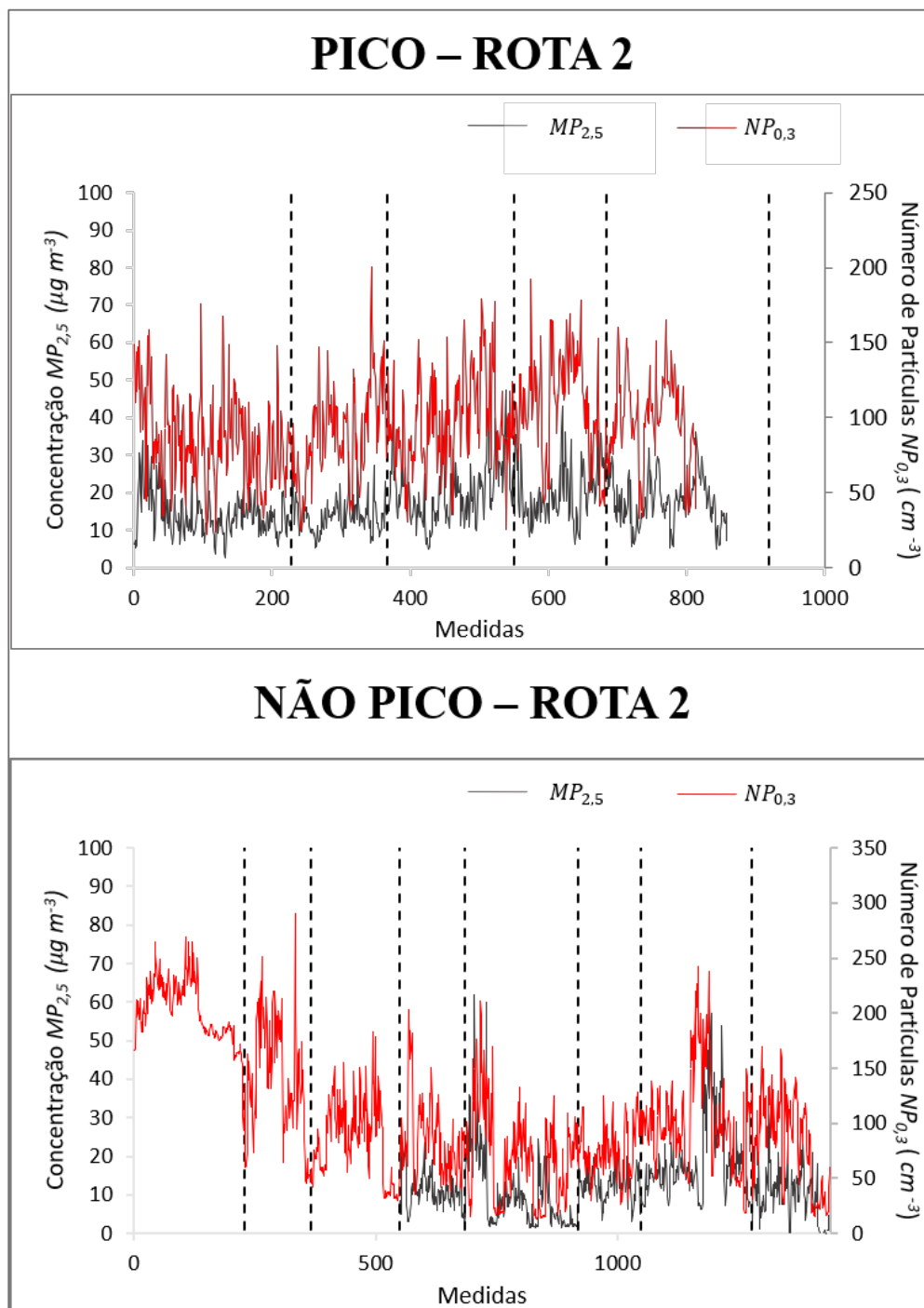


Figura 13: Medidas feitas para a amostragem de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$  na Rota 1

A Rota 2, segunda maior em fluxo de pessoas transportadas, circula de Centenário, região leste até Campo Comprido na região oeste da cidade, também passando pelo centro da cidade e cruzando com a rota 1 através de tubos onde os passageiros podem trocar de linha. Esta rota também é feita por ônibus de categoria expresso, onde fazem as viagens através de corredores fazendo paradas em tubos e terminais urbanos. Nesta rota foram feitas 6 medidas no período de pico e 8 no período de não pico. Para o período de pico variou de 33,8 – 47  $\mu\text{g m}^{-3}$  e para não pico de 23,7 – 60,7  $\mu\text{g m}^{-3}$  para as concentrações mais altas.



**Figura 14:** Medidas feitas para a amostragem de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$  na Rota 2

A Rota 3, percorre toda a região oeste de Curitiba, circulando da região noroeste a sudoeste e vice-versa. Esta rota é realizada por categorias de ônibus interbairros, que são ônibus padrões ou articulados na cor verde que liga diversos bairros sem passar pelo centro da cidade.

É uma rota de uma região afastada do centro, mas ela pertence a área da Cidade Industrial de Curitiba (CIC). Com o crescimento industrial na década de 70 da cidade, a região foi bastante desenvolvida e muitas pessoas passaram a habitar na região. Com a modernização dos transportes públicos em Curitiba, o terminal CIC e o terminal Caiuá ficaram de fácil acesso pelo terminal Campo Comprido que fica na divisa do bairro e onde se conecta a Rota 2 com a linha expresso. Nesta rota foram realizadas 8 medidas para o período de pico e 9 medidas para o período de não pico. Foram encontradas concentrações de 28,2 – 57,5  $\mu\text{g m}^{-3}$  no período de pico e 26,7 – 95,9  $\mu\text{g m}^{-3}$  no período de não pico.

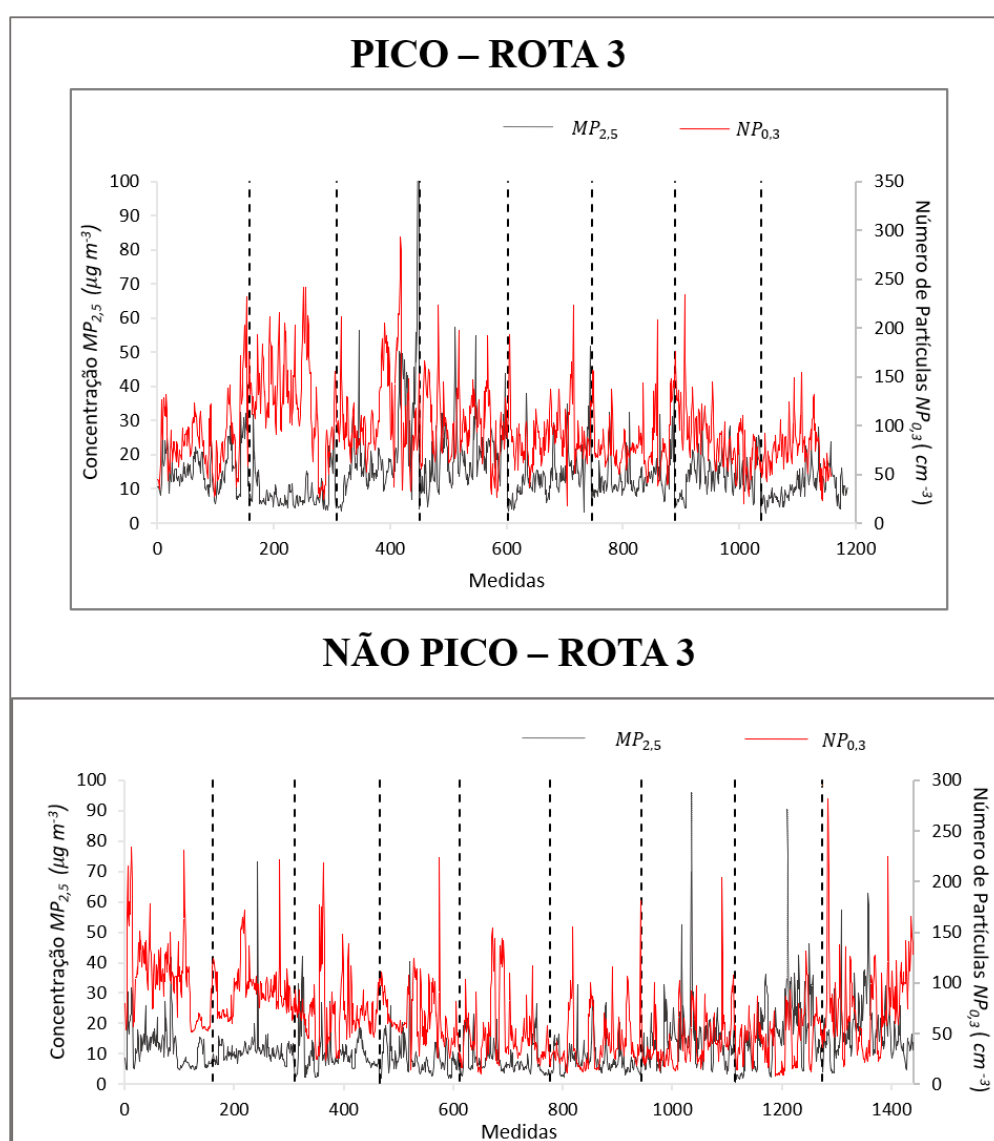
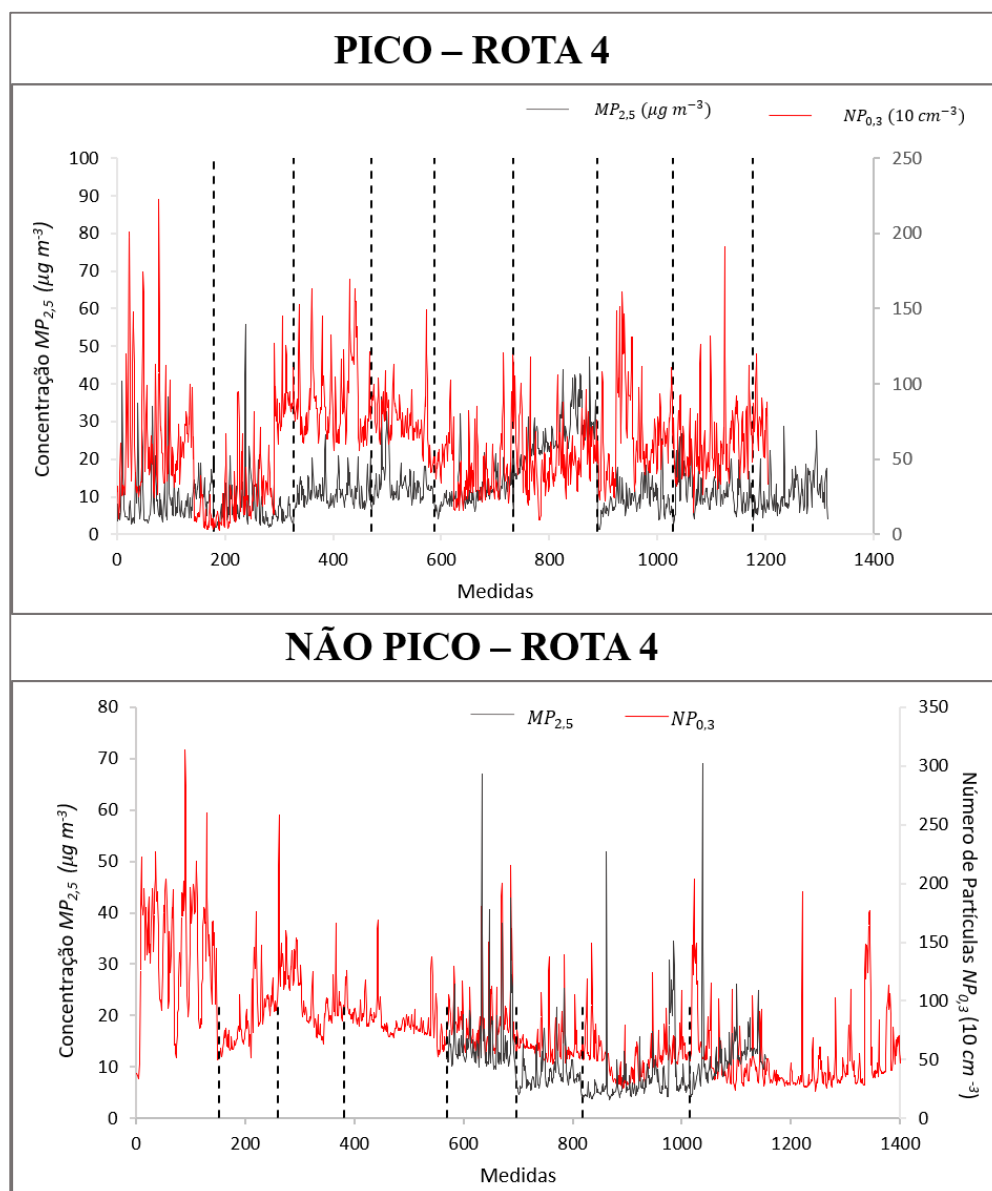


Figura 15: Medidas feitas para a amostragem de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$  na Rota 3

A Rota 4, circula em movimentos circulares horários e anti-horários, passando pela maioria das regiões de Curitiba (Norte, Sul, Leste e Oeste), dos bairros da cidade parando em seus terminais, mas não passa pela região central. Ela é realizada por ônibus do tipo padrão na cor prata, com paradas em média de 3 km, com embarque e desembarque em nível de terminais e estações tubo. É uma linha que se caracteriza por ser complementar, conectando com as categorias de interbairros e categorias expressas. Foram realizadas 9 medidas no período de pico e 8 medidas no período de não pico. Para o período de pico foram encontradas 25,5 – 55,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  e 24 – 69,1  $\mu\text{g m}^{-3}$  para o período de não pico.



**Figura 16:** Medidas feitas para a amostragem de  $MP_{2.5}$  e  $NP_{0.3}$  na Rota 4

A Rota 5, circula saindo de uma das praças centrais de Curitiba (Praça Carlos Gomes) e vai em sentido linear para o terminal Boqueirão na região sudeste. A categoria que opera nesta linha é Ligeirão, que são caracterizados por seus veículos biarticulados que passam pelos corredores em paradas em terminais e estações tubo e possuem um número reduzido de paradas, proporcionando percursos mais rápidos. Esta rota percorre apenas 20 km de distância, portanto sua viagem é feita em torno de 25 minutos.



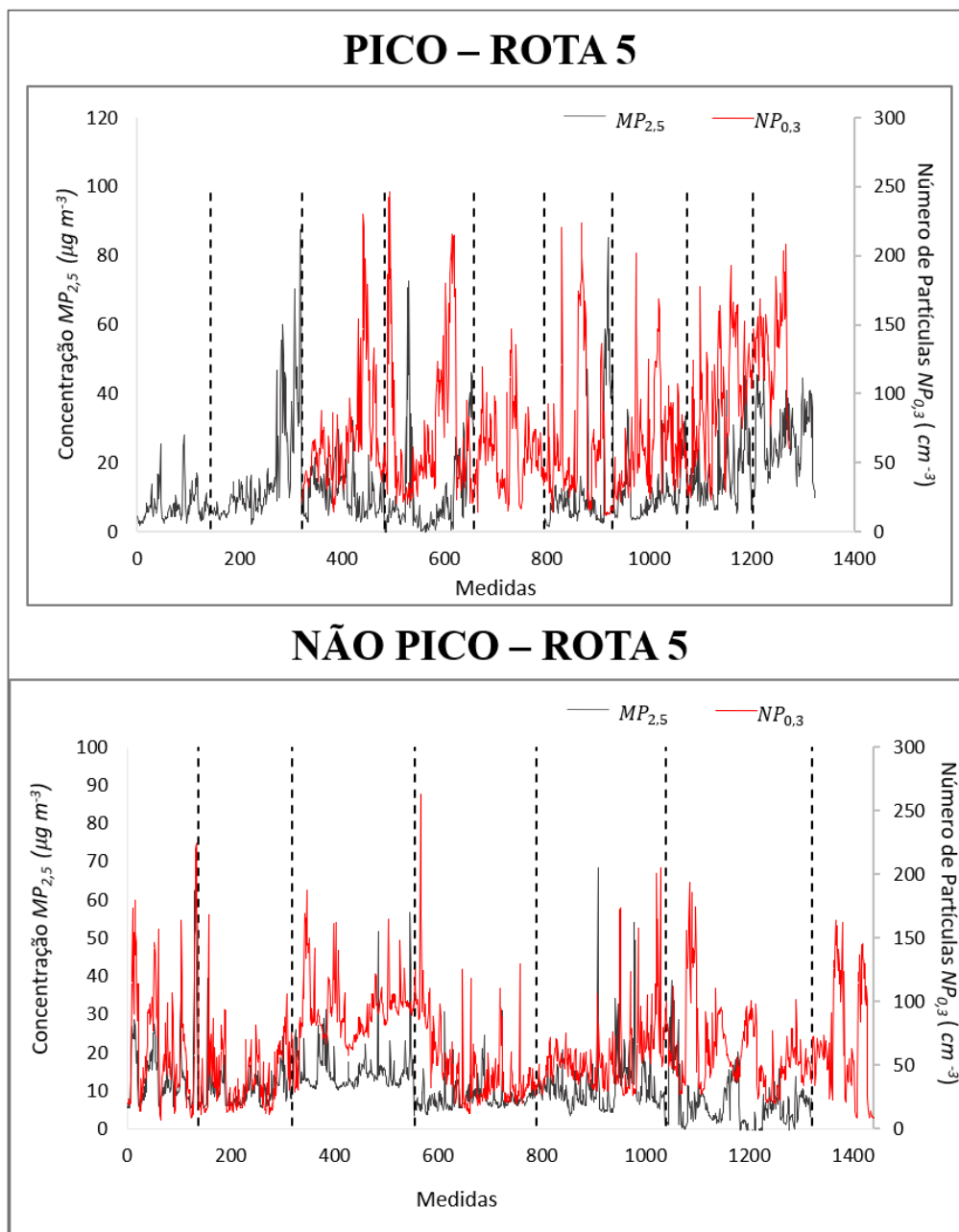
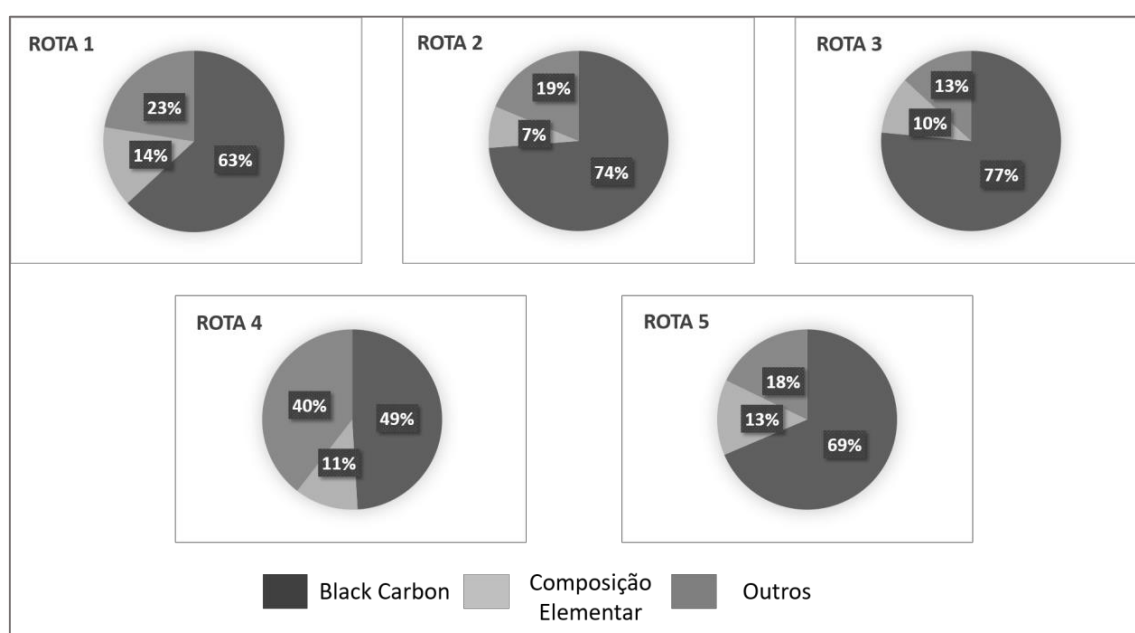


Figura 17: Medidas feitas para a amostragem de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$  na Rota 5

### 5.3 Composição elementar do MP<sub>2,5</sub>

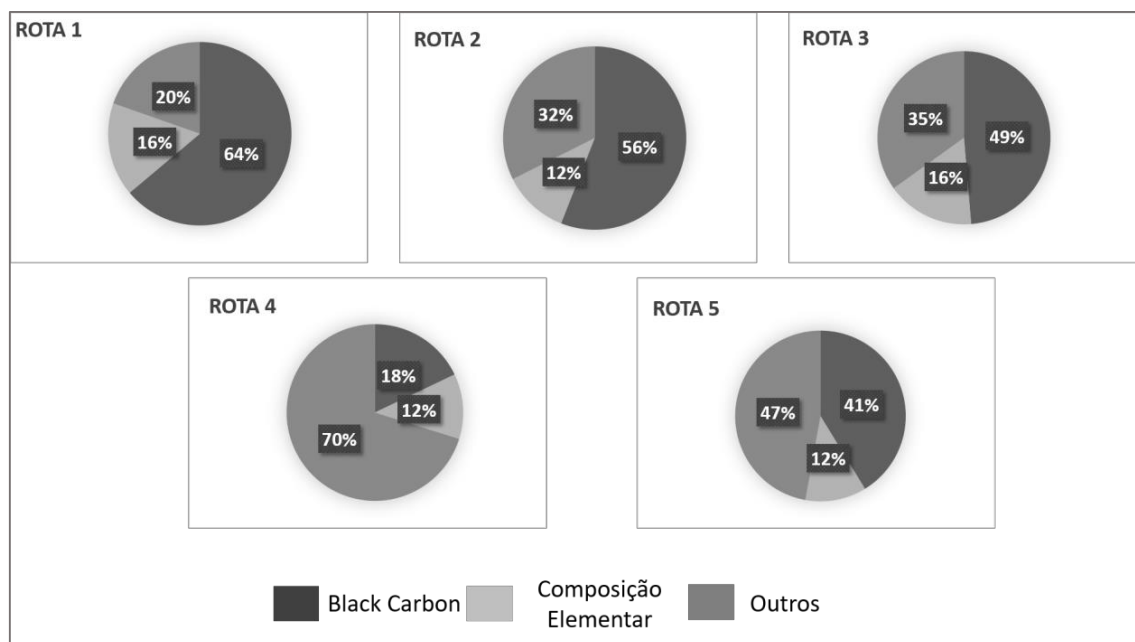
As Figuras 18 e 19, a seguir, mostram a composição elementar do MP<sub>2,5</sub> coletados nos filtros nas rotas. Os valores de *BCe* variaram de 11,1 – 20,0  $\mu\text{g m}^{-3}$  para período de pico e de 7,4 – 16,2  $\mu\text{g m}^{-3}$  no período de não pico. O valor médio de *BCe* para o período de pico foi de 18,0  $\mu\text{g m}^{-3}$  sendo que os valores mais altos foram observados para as rotas 1 e 2 com valores de 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ , e o valor mais baixo para a Rota 4 de 11,1  $\mu\text{g m}^{-3}$ .



**Figura 18:** Composição média dos filtros no período de pico para as cinco rotas estudadas.

O valor médio para não pico de *BCe* foi de 11,6  $\mu\text{g m}^{-3}$  com um valor mais elevado para a R1 de 17,3  $\mu\text{g m}^{-3}$  e 7,4  $\mu\text{g m}^{-3}$  para R4. Podemos ver que o maior valor para *BCe* no período de não pico foi observado na R1, que é a rota que contém o maior fluxo de pessoas e também é a linha que corta toda a cidade, passando pelo centro da cidade. Claramente, os valores de *BCe* foram maiores no período de pico, devido a maior circulação veicular, que é sua fonte de emissão. A Rota 4 teve um maior valor de MP<sub>2,5</sub> e NP<sub>0,3</sub>, mas, por outro lado, um menor valor de *BCe* nos dois períodos coletados. A hipótese é que a Rota 4 tem um trajeto circular com movimentos horário e anti-horário pela cidade, não passa pelo centro da cidade, possivelmente com maior contribuição em massa de outros elementos e fontes. Além disso, o *BCe* constitui-se em um particulado ultrafino. É importante lembrar que as concentrações de *BCe* e dos elementos foram obtidas a partir da análise dos filtros, do qual sua massa são obtidas pelo

método gravimétrico e as medidas de  $MP_{2,5}$  registradas minuto a minuto são obtidas baseadas no espalhamento da luz, convertidas via uso do coeficiente de espalhamento do equipamento. Não foram realizadas medidas prévias para verificação do coeficiente ou utilizado o fato de correção.



**Figura 19:** Composição média dos filtros no período de não pico para as cinco rotas estudadas.

### 5.3 Composição Química

As concentrações dos elementos químicos, determinadas a partir de medidas de ED-XRF, são mostradas na tabela . Foram identificados três principais compostos presentes na atmosfera analisada: enxofre (S), com concentração de 1547,7 ng m<sup>-3</sup> no período de pico e 1710,4 ng m<sup>-3</sup> para não pico, Sódio (Na) com 2203,9 ng m<sup>-3</sup> para pico e 1476,4 ng m<sup>-3</sup> para não pico e o Ferro (Fe) apresentou um valor de 357,03 ng m<sup>-3</sup> para pico e 497,9 ng m<sup>-3</sup> para não pico.

**Tabela 3:** Elementos químicos encontrados para o período de Pico.

<i>Elementos ng/m<sup>3</sup></i>	<b>PICO</b>									
	<i>ROTA 1</i>	<i>N1</i>	<i>ROTA 2</i>	<i>N2</i>	<i>ROTA 3</i>	<i>N3</i>	<i>ROTA 4</i>	<i>N4</i>	<i>ROTA 5</i>	<i>N5</i>
Al	261,6	3	98,7	2	157,6	3	65,1	2	247,9	3
Ca	751,9	3	124,7	3	129,0	3	132,7	3	82,7	3
Fe	863,9	3	109,2	3	162,1	3	122,2	3	527,5	3
K	203,5	3	97,2	3	125,3	3	107,6	3	132,5	3
Na	445,2	2	377,3	1	842,4	2	635,9	2	718,2	3
S	1646,9	3	1549,1	3	1809,9	3	1659,0	3	1073,4	3
Si	427,1	2	35,6	1	77,5	2	69,8	2	41,3	1
Br	2,2	3	2,1	3	1,4	1	6,8	1	0	0
Cl	213,4	3	6,2	2	5,8	1	8,3	2	91,5	2
Cr	46,3	2	0	0	0	0	4,0	1	236,6	1
Cu	0	0	8,7	1	0	0	0	0	0	0
Mg	69,5	2	0	0	108,2	3	21,3	2	103,3	2
Mn	3,3	3	1,0	1	2,9	3	3,2	1	15,2	1
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	11,49	1
P	22,4	3	10,5	1	18,9	2	1,0	2	14,4	3
Pb	0,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Se	3,7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	26,5	3	1,3	1	4,8	2	0,6	1	18,8	1
V	5,6	1	5,0	1	0	0	0	0	0	0
Zn	30,1	3	15,1	3	26,1	3	9,4	3	15,3	3

**Tabela 4:** Elementos químicos encontrados para o período de Não Pico.

NÃO PICO										
<i>Elementos</i> <i>ng/m<sup>3</sup></i>	<i>ROTA 1</i>	<i>N1</i>	<i>ROTA 2</i>	<i>N2</i>	<i>ROTA 3</i>	<i>N3</i>	<i>ROTA 4</i>	<i>N4</i>	<i>ROTA 5</i>	<i>N5</i>
Al	178,4	2	146,8	3	90,8	3	257,8	2	142,0	3
Ca	2009,2	3	183,4	3	128,4	3	169,2	3	173,9	3
Fe	292,6	3	169,4	3	305,6	3	1344,6	3	376,9	3
K	181,2	3	235,5	3	141,1	3	138,0	3	89,0	3
Na	503,1	2	219,2	3	681,5	3	0	0	289,3	2
S	1078,2	3	2148,3	3	1400,5	3	2648,2	3	1276,6	3
Si	138,6	3	29,6	3	49,5	3	79,0	2	79,5	2
Br	11,7	1	0	0	2,5	1	0	0	0	0
Cl	137,2	3	388,7	1	12,6	2	46,7	2	66,4	2
Cr	11,7	2	25,7	2	0	0	914,9	1	61,4	2
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	97,7	1	79,1	1	0	0	28,8	0	60,4	2
Mn	4,7	3	3,0	2	2,1	2	28,4	2	8,4	1
Ni	0	0	46,8	2	0,06	1	70,7	1	3,9	2
P	57,5	3	11,0	2	7,5	1	2,4	1	0	0
Pb	19,4	1	0	0	0	0	0	0	1,4	1
Se	0,8	1	0	0	0	0	0	0	0,8	1
Ti	41,9	3	4,0	2	13,7	3	6,4	2	12,5	3
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	1
Zn	20,5	3	11,7	0	15,8	3	9,8	3	24,6	3

As espécies de enxofre mais presentes na atmosfera são o dióxido de enxofre e o sulfeto de hidrogênio, constituintes da fase gasosa e os sulfatos, componentes do material particulado. As fontes de enxofre na atmosfera podem ser de origem natural (reações entre organismos, erupções vulcânicas) ou antrópica (incêndios de vegetação e área industrial), que no caso do município estudado, claramente é emitido pelas indústrias (ANDRADE et al., 2012), mas também com participação dos veículos.

Em se tratando de uma cidade próxima ao litoral, pode-se dizer que há uma grande influência do spray marinho pela chegada da brisa até a atmosfera de Curitiba vinda do litoral

que justificaria a alta taxa de sódio na atmosfera. No entanto, considerando o balanço com o cloro há excesso de sódio, indicando assim fontes extras desse elemento. Moreira (2017) em estudo similar realizado em Londrina também encontrou valores elevados de sódio e atribuiu a presença do biodiesel no diesel. Desta forma, as fontes principais de Na podem ser atribuídas ao spray marinho e a presença de biodiesel no diesel, utilizado pelos ônibus. O Ferro, outro elemento encontrado em relativa alta concentração por sua vez, pode estar associado ao desgaste dos diversos materiais contendo ferro e também a suspensão de partículas do solo.

Al, Ca e Si são de origem do solo pela ressuspensão realizada pela passagem dos veículos em ambos os períodos e rotas. Por exemplo, Godoi et al. (2004), encontraram Si, Ca e Al associados com fontes provenientes da ressuspensão de poeira em escolas de Curitiba, assim como, Moreira (2017) em estudo similar.

Analisando todos os outros elementos encontrados, a fonte que mais afetou o local de amostragem em Curitiba foram as emissões de veículos, uma vez que elementos como Cu, Zn, Pb, Br também podem ser emitidos por fontes veiculares e industriais. No entanto, também com a contribuição de diversos outros processos (industriais, construção civil, etc) pela presença de metais em algumas amostras de V, Cr, Se, Mn e Ti.

### **5.3 Dose inalada e análise de risco**

O valor de inalação do indivíduo, é um importante indicador de poluição atmosférica, uma vez que a dose ideal para que não cause efeitos nocivos à saúde ainda é incerto. O tempo da exposição do indivíduo, sua taxa respiratória, sua atividade diária e o ambiente onde frequenta é muito determinante para o resultado (PANIS et al, 2010 e DIRKS 2012).

Na tabela 5 podemos analisar os resultados da dose inalada dos elementos das quais existem valores de referência (ver metodologia) e os respectivos índices de perigo estimado para os indivíduos expostos no ambiente estudado, para cada rota nos dois períodos estudados de pico e não pico. A rota 4 se destaca com um valor de 4,3 (ng/kg-hora), conciliando com as altas concentrações encontradas no mesmo período na figura 10. Para as rotas restantes, o Índice de risco foi bem menor, comparado com a Rota 4, não ultrapassando o valor de 1, considerado de risco.

Moreira et al. (2018) analisou a inalação de voluntários que se deslocaram por meio de carros e ônibus e calculou a inalação das rotas do local estudado. Os voluntários no grupo

do ônibus inalam um valor maior que os voluntários do carro. Em média a inalação de MP<sub>2,5</sub> foi de respectivamente 0,60 µg kg hora and 0,19 µg kg horar para pico e não pico, sendo maior que as médias de inalação dos voluntários. No entanto o valor mais elevado foi semelhante ao encontrado para um voluntário que trabalha na parte comercial, lugar perto do tráfego, indicando a importância do projeto de construção para evitar a entrada de partículas. Outro aspecto importante é a composição química em termos de interações de elementos com o sistema respiratório, bem como a distribuição de tamanho de MP. No estudo foi descoberto que metais em amostras de MP<sub>2,5</sub> têm potencial para danificar a saúde (Zn, Pb, Cu, Ni, Cr e Mn).

**Tabela 5:** Dose e Índice de Perigo (IP) para todas as rotas no pico e não pico

	<i>Dose elementos (ng/kg-hora)</i>	<i>IP</i>	<i>Dose (ng/kg-hora) Pico</i>	<i>IP Pico</i>
	<i>Não pico</i>	<i>Não Pico</i>		
ROTA 1	0,49	0,13	1,00	0,76
ROTA 2	0,42	0,32	0,21	$4,3 \times 10^{-4}$
ROTA 3	0,19	$8,6 \times 10^{-4}$	0,32	$1,6 \times 10^{-3}$
ROTA 4	4,31	4,81	0,14	$2,2 \times 10^{-2}$
ROTA 5	0,85	0,66	1,48	1,48

## 6. CONCLUSÕES

O estudo realizado em rotas do transporte público da cidade de Curitiba, mostrou que as concentrações de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$  em geral são maiores nas rotas de maior demanda pelos usuários. Os períodos (pico) de maior demanda e circulação de veículos apresentam maiores concentrações de MP quando comparados aos de não pico. Dentre as rotas analisadas, a Rota 4 apresenta as maiores concentrações no pico. O trajeto dessa rota circula a cidade, se conecta com todas as outras linhas e faz paradas principalmente nos terminais urbanos, justificando possivelmente os maiores valores registrados.

A exposição pessoal utilizando o transporte público na cidade de Curitiba, mostrou que nos horários de pico da cidade que ocorre por volta de 17:00 as 19:30 os indivíduos estão mais expostos aos poluentes atmosféricos, destacando o horário a partir das 18:00, onde tem o maior número de carros e o trânsito é muito maior. A exposição ocorre tanto dentro do ônibus, como nos microambientes proporcionados durante o percurso.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, é sugerido fazer uma análise mais detalhada dos dados meteorológicos nos períodos de amostragem. Também, apesar dos dados incertos das estações da qualidade do ar, é válido fazer uma análise com os poucos dados adquiridos para levantamento de dados para supostas comparações das regiões das estações e das rotas estudadas. Por fim, também é sugerido fazer o cálculo da dose inalada para cada rota separadamente, para possível comparação com os resultados obtidos.



## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. O., THUNDIYIL, J. G., STOLBACH, A. Clearing the air: A review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *Journal Medical Toxicology*, v. 8, p. 166-175, 2012.
- ANDRADE, M. F., MIRANDA, R. M. M., FORNARO, A., KERR, A., OYAMA, B., ANDRE, P. A., SALDIVA, P. Vehicle emissions and PM<sub>2.5</sub> mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere and Health*, v. 5, p. 79–88, 2012.
- ARBEX, M. A., SANTOS, U. P., MARTINS, L. C., SALDIVA, P. H. N., PEREIRA, L. A. A., BRAGA, A. L. F. Air Pollution and respiratory system. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 38, p. 643-655, 2012.
- ALBUQUERQUE, T. T. A. Distribuições de tamanho, composição química e identificação das fontes do aerossol atmosférico de São Paulo: Um estudo de caso para o inverno de 2003. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2005.
- ARDILES, L. G. et al. Negative Binomial regression model for analysis of the relationship between hospitalization and air pollution. *Atmospheric Pollution Research*, n. June, p. 0–1, 2017.
- BAKONYI, S. M. C., DANNI-OLIVEIRA, I. M., MARTINS, L. C., BRAGA, A.L. F. Air pollution and respiratory diseases among children in the city of Curitiba, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 38, n. 5, p. 695–700, 2004.
- BEAL, A. Avaliação inorgânica de material particulado atmosférico inalável na região norte do Paraná. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina e Apucarana. Londrina, 2015.
- BOND, T. C., DOHERTY, S. J., FAHEY, D. W., FORSTER, P. M., BERNTSEN, T., DEANGELO, B. J., FLANNER, M. G., GHAN, S., KÄRCHER, B., KOCH, D., KINNE, S.; KONDO, Y.; QUINN, P. K.; SAROFIM, M. C.; SCHULTZ, M. G.; SCHULZ, M.; VENKATARAMAN, C.; ZHANG, H.; ZHANG, S.; BELLOUIN, N.; GUTTIKUNDA, S. K.; HOPKE, P. K.; JACOBSON, M. Z.; KAISER, J. W.; KLIMONT, Z.; LOHMANN, U.; SCHWARZ, J. P.; SHINDELL, D.; STORELVMO, T.; WARREN, S. G.; ZENDER, C. S. Bounding the role of black carbon in the climate system: a scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 118, p. 5380-5552, 2013.
- BRAGA, A., PEREIRA, L. A., SALDIVA, P. H. N., *Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana*. Faculdade de Medicina da USP, 2002.
- BRAGA, A. L., SALDIVA, P. H., PEREIRA, L. A., MENEZES, J. J., CONCEIÇÃO, G. M., LIN, C. A., ZANOBETTI, A., SCHWARTZ, J., DOCKERY, D. W. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatric Pulmonology*, v. 31, p. 106–113, 2001.
- BAILEY, D., SOLOMON, G. Pollution prevention at ports: clearing the air, v. 24, p. 749–774, 2004.
- BLACK, D., BLACK, J. A review of the urban development and transport impacts on public health with particular reference to Australia: trans-disciplinary research teams and some research gaps. *International Journal of Environmental Research*, v. 6, p. 1557-1596, 2009.
- CHAPMAN, L. Transport and climate change: a review. *Transport Geography*, v.15, p. 354-367, 2007.

CHAN, L.Y., LAU, W.L., LEE, S.C., CHAN, C.Y. Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong. *Atmos. Environ*, v.36, p. 3363-3373, 2002.

CALDEIRA, K., MORGAN, M. G., BALDOCCHI, D., BREWER, P. G., CHEN, C. T. A., NABUURS, G. J., NAKICENOVIC, N., ROBERTSON, G. P. A portfolio of carbon management options. In: Field, C.B., Raupach, M.R. (Eds.), *The Global Carbon Cycle*. Island Press, Washington, DC, USA, p. 103–130, 2004.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. Considerações Sobre a Poluição Do Ar Em Curitiba-PR Face a Seus Aspectos de Urbanização. R. RA'EGA - Editora UFPR, p. 101–110, 2000.

Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), Disponível em:  
<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/261-frota-2016>

DIRKS, K. N., SHARMA, P., SALMOND, J. A., COSTELLO, S. B. Personal concentration to air pollution for various modes of transport in Auckland, New Zealand. *The Open Atmospheric Science Journal*, v. 6, p. 84-92, 2012.

DOCKERY, D. W., POPE, C. A., XIPING, X., SPENGLER, J. D., WARE, J. H., FAY, M. E., FERRIS JR., B. G., AND SPEIZER, F. E. An association between air pollution and mortality in six US cities, v. 329, p. 1753–1759, 1993.

FRANKLIN, M., KOUTRAKIS, P., SCHWARTZ, J. The role of particle composition on the association between PM<sub>2.5</sub> and mortality. *Epidemiology*, v. 19, p. 680–689, 2008.

GENARO, V. Relações entre o tempo atmosférico e doenças cardiorespiratórias na cidade de Cordeirópolis -SP. 151f. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – campus Rio Claro. Universidade Estadual Paulista, Rio claro. 2011.

GOLVEIA, N., FREITAS, C. U. F, MARTINS, L. C., MARCILIO, I. O. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 22, n.12, p. 2669-2677, 2006.

GUARIEIRO, L. L. N., VASCONCELLOS, P. C., SOLCI, M.C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química*, v.3, n.5, 2011.

Guidelines for the Application of SEM/EDX Analytical Techniques to Particulate Matter Samples. United States Environmental Protection Agency. 2002

HEO, J.-B., HOPKE, P. K., Yi, S.-M., Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Seoul, Korea. *Atmos. Chem. Phys.*, v.9, p. 4957-4971, 2009.

HETEM, G. I. Quantificação da contribuição veicular para as concentrações atmosféricas de material particulado fino e black carbon em São Paulo. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2014.

HETTFLISCH, K., BERNARDES, L. S., CARVALHO, M. A., DUZOLINA, L., PASTRO, M., VIEIRA, S. E., FRANCISCO, V. Short-Term Exposure to Urban Air Pollution and Influences on Placental Vascularization Indexes, v. 125(4), p. 753–759, 2017.

HOBBS, P. V. Introduction to Atmospheric Chemistry, Cambridge University, Cambridge, 2000.

IAP, 2012. Relatório Anual da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba (disponível em <http://www.iap.pr.gov.br/>).

IBGE, 2015. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>.

Instituto de Tecnologia e Desenvolvimento (LACTEC), Disponível em: <http://iqar.institutoslactec.org.br/iap/monitoramento.php?acesso=Publico>.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>.

JACOBSON, M. Z., Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2 ed, Cambridge University Press, Cambridge, 2005.

KARAGULIAN, F., BELIS, C. A., DORA, C. F., PRÜSS-USTÜN, A. M., BONJOUR, S., ADAIR-ROHANI, H., AMANN, M. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level, v. 120, p. 475-483, 2015.

KUMAR, P., MORAWSKA, L., BIRMILI, W., PAASONEN, P., HU, M., KULMALA, M., HARRISON, R. M., NORFORD, L., BRITTER, R. Ultrafine particles in cities. Environment International, v. 66, p. 1-10, 2014.

KUMAR, P., ANDRADE, M. F., YNOUE, R. Y., FORNARO, A., FREITAS, E. D., MARTIS, J., MARTIS, L. D., ALBUQUERQUE, T., YAND, Z., MORAWSKA, L. New directions: From biofuels to wood stoves: The modern and ancient air quality challenges in the megacity of São Paulo. Atmospheric Environment, v. 140, p. 364–369, 2016.

KAUR, S., NIEUWENHUIJSEN, M., COLVILE, R. Personal exposure of street canyon intersection users to PM<sub>2.5</sub>, ultrafine particle counts and carbon monoxide in Central London, UK. Atmospheric Environment, v. 39, p. 3629–3641, 2005.

KAUR, S., NIEUWENHUIJSEN, M., COLVILE, R. Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments. Atmospheric Environment, v. 41. p. 4781-4810. 2007.

KÜNZLI, N., PEREZ, L., RAPP, R. Air Quality and Health. European Respiratory Society. 2010.

KRECL, P., JOHANSSON, C., TARGINO, A. C., STROM, J., BURMAN, L. Trends in black carbon and size-resolved particle number concentrations and vehicle emission factors under real-world conditions. Atmospheric Environment, v. 165, p 155-168, 2017

LACK, D. A., MOOSMÜLLER, H., MCMEEKING, G. R., CHAKRABARTY, R. K., BAUMGARDNER, D. Characterizing elemental, equivalent black, and refractory black carbon aerosol particles: a review of techniques, their limitations and uncertainties. Analytical and Bioanalytical Chemistry, v. 406, p. 99-122, 2014.

- LANDRIGAN, P. J., FULLER, R., ACOSTA, N. J. R., ADEYI, O., ARNOLD, R., BASU, N., ZHONG, M. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, v.17 p.6736, 2017.
- LIM, S., DIRKS, K. N., SALMOND, J. A., XIE, S. Determinants of spikes in ultrafine particle concentration whilst commuting by bus. *Atmospheric Environment*, v. 112, p. 1–8, 2015.
- LIU, X., ZHAI, Y., ZHU, Y., CHEN, H., LI, P., PENG, C., XU, B., LI, C., ZENG, G. Mass concentration and health risk assessment of 91 heavy metals in size-segregated airborne particulate matter in Changsha. *Science of the Total Environment*, v. 517, p. 215–221, 2015.
- MACHADO, V. B. Identificação das fontes de material particulado fino (MP2,5) de Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2012.
- MARTINS, L. D., SILVA J. R., JÚNIOR, C. R. S., SOLCI, M. C., PINTO, J. P., SOUZA, D. Z., VASCONCELLOS, P., GUARIEIRO, L. L. N., GUARIEIRO, A. L. N., SOUSA, E. T., ANDRADE, J. B. Particle emission from heavy duty engine fuelled with blended diesel and biodiesel, v.184, p. 2663–2676, 2012.
- MASSEY, D., KULSHRESTHA, A., TANEJA, A. Particulate matter concentrations and their related metal toxicity in rural residential environment of semi-arid region of India. *Atmospheric Environment*, v. 67, p. 278-286, 2013.
- MIRANDA, R. M., ANDRADE, M. F., WOROBIEC, A., GRIEKEN, R. V. Characterization of aerosol particles in São Paulo Metropolitan Area, *Atmospheric Environment*, v.36, p.345 – 352, 2001.
- MIRANDA, H. F. MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL E O CASO DE CURITIBA. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes – Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- MORENO, T., RECHE, C., RIVAS, I., MINGUILLÓN, M. C., MARTINS, V., VARGAS, C., BUONANNO, G., PARGA, J., PANDOLFI, M., BRUNES, M., EALO, M., FONSECA, A. S., AMATO, F., SOSA, G., CAPDEVILA, M., MIGUEL, E., QUEROL, X., GIBBONS, W. Urban air quality comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona. *Environmental Research*, v. 142, p. 495–510, 2015.
- McNABOLA, A., BRODERICK, B. M., GILL, L. W. Relative exposure to fine particulate matter and VOCs between transport microenvironments in Dublin: Personal exposure and uptake. *Atmospheric Environment*, v. 42, p. 6496–6512, 2008.
- MOREIRA, C. A. B., SQUIZZATO, R., BEAL, A., ALMEIDA, D., RUDKE, A. P., RIBEIRO, M., ANDRADE, M. F., KUMAR, P., MARTINS, L. Natural variability in exposure to fine particles and their trace elements during typical workdays in urban area. Submitted 2018
- MORAES, L. M. B. Utilização da técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) na avaliação do material particulado em suspensão na cidade de Limeira-SP. Tese de doutoramento. Centro de Energia Nuclear e Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

NASCIMENTO FILHO, V. F. Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF). Departamento de Ciências Exatas/ESALQ Laboratório de Instrumentação Nuclear/CENA. 1999.

PETZOLD, A., OGREN, J. A., FIEBIG, M., LAJ, P., LI, S. M., BALTENSPERGER, U., HOLZER-POPP, T., KINNE, S., PAPPALARDO, G., SUGIMOTO, N., WEHRLI, C., WIEDENSOHLER, A., ZHANG, X. Y. Recommendations for reporting “black carbon” measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 13, p.8365-8379, 2013.

PANIS, L. I., DE GEUS, B., VANDENBULCKE, G., WILLEMS, H., DEGRAEUWE, B., BLEUX, N., MISHRA, V., THOMAS, I., MEEUSEN, R. Exposure to particulate matter in traffic: a comparison of cyclists and car passengers. *Atmospheric Environment*, v. 44(19), p.2263-2270, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.028>.

PATRÓN, D. LYAMANI, H., TITOS, G., CASQUERO-VERA, J. A., CARDELL, C., MO, G., OLMO, F. J. Monumental heritage exposure to urban black carbon pollution, v.170, p.22–32. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.030>, 2017.

PARK, E., KIM, D., PARK, K. Monitoring of ambient particles and heavy metals in a residential area of Seoul, Korea. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 137, p. 441–449, 2008.

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

POLEZER, G. et al. Assessing the impact of PM<sub>2.5</sub> on respiratory disease using artificial neural networks, v. 235, p. 394–403, 2018.

Portal da Prefeitura de Curitiba, Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/perfil-da-cidade-de-curitiba/174>.

POWER M. C., ADAR, S. D., YANOSKY, J. D., WEUVE, J. Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: A systematic review of epidemiologic research. *NeuroToxicology*. V.56, p. 235 – 253 <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.06.004>, 2016.

OSTRO, B., LIPSETT, M., REYNOLDS, P., GOLDBERG, D., HERTZ, A., GARCIA, C., HENDERSON, K.D., BERNSTEIN, L. Long-term exposure to constituents of fine particulate air pollution and mortality: results from the California Teachers Study. *Environmental Health Perspectives*, v. 118, p. 363-369, 2010.

RAUCH, J. N., PACYNA, J. M., Earth’s global Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn cycles. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 23, p. 1– 6, 2009.

RIVAS, I., KUMAR, P., HAGEN-ZANKER, A. Exposure to air pollutants during commuting in London: Are there inequalities among different socio-economic groups?. *Environment International*, v. 101 p. 143–157, 2017.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ – SIMEPAR. Disponível em: <http://www.simepar.br/>

SMITH, K. R. Fuel combustion, air pollution exposure, and health: the situation in the developing countries. v.18, p. 529-66, 1993.

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

SCHWARTZ, J., LADEN, F., ZANOBETTI, A. The concentration response relation between PM<sub>2.5</sub> and daily deaths. v. 110, p. 1025–1029, 2002.

SALDIVA, P. H. N., COÊLHO, M. S. Z. S. Capítulo 15 – Poluição atmosférica e saúde humana. Engenharia ambiental – Conceitos, Tecnologia e Gestão, p. 345 – 365, 2013.

SALDIVA, P. H. N., POPE III, C. A., SCHWARTZ, J., DOCKERY, D. W., LICHTENFELS, A. J., SALGE, J. M., BARONE, I., BOHM, G. M. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil. Archives of Environmental Health, v. 50, p. 159–163, 1995.

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

SEINFELD, J. H., PANDIS, Spyros N. Atmospheric chemistry and physics. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

STEINLE, S., REIS, S. SABEL, C. E. Quantifying human exposure to air pollution - Moving from static monitoring to spatio-temporally resolved personal exposure assessment. Science of the Total Environment, v. 443, p. 184–193. 2013.

STEINLE, S. et al. Personal exposure monitoring of PM<sub>2.5</sub> in indoor and outdoor microenvironments. Science of the Total Environment, v. 508, p. 383–394, 2015.

SPINAZZÈ, A., CATTANEO, A., SCOCCA, D. R., BONZINI, M., CAVALLO, D. M. Multi-metric measurement of personal exposure to ultrafine particles in selected urban microenvironments. Atmospheric Environment, v. 110, p. 8–17, 2015.

TARGINO, A. C., RODRIGUES, M. V. C., KRECL, P., CIPOLI, Y. A., RIBEIRO, J. P. M. Commuter exposure to black carbon particles on diesel buses, on bicycles and on foot: a case study in a Brazilian city. Environmental Science and Pollution Research, v. 25, p. 1132 – 1146, 2017.

US Federal Register: National ambient air quality standards for particulate matter, Federal Register 40 CFR Part 51, 72, 79, 20587, 2007.

U.S. EPA – Environmental Protection Agency. Exposure Factors Handbook. Office of Research and Development. p. 95. 1997.

Urbanização de Curitiba (URBS) Disponível em:  
<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/institucional/urbs-em-numeros>

VALARINI, S. Caracterização do material particulado em Cubatão. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2011.

VIALI, L. Teste de hipótese não paramétrico. UFRGS. Porto Alegre, 2008.

WOHRNSCHIMMEL, H., ZUK, M., VILLA, G. M., CERÓN, J., CÁRDENAS, B., ROJAS-BRACHO, L., FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ, A. The impact of a Bus Rapid Transit system on

commuters' exposure to Benzene, CO, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Mexico City. *Atmospheric Environment*, v. 42, n. 35, p. 8194–8203, 2008.

YANG, F., KAUL, D., WONG, C., WESTERDAHL, D., SUN, L., HO, F., TIAN, L., BRIMBLECOME, P., NING, Z. Heterogeneity of passenger exposure to air pollutants in public transport microenvironments. *Atmospheric Environment*. v.109, p. 42–51, 2015.

WONG, L.T., Mui, K.W., CHEUNG, C.T., CHAN, W.Y., Lee, Y.H., CHEUNG, C.L. In-cabin exposure levels of carbon monoxide, carbon dioxide and airborne particulate matter in air-conditioned buses of Hong Kong. *Indoor Built Environ*, v.20, p.464 – 470, 2011.

WHO- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Air Quality Guidelines: Global Update 2005*. WHO. 2006.

ZENCAK, Z., ELMQUIST, M., GUSTAFSSON, O. Quantification and radiocarbon source apportionment of Black Carbon in atmospheric aerosols using the CTO-375 method. *Atmospheric Environment*, v. 41, n. 36, p. 7895-7906, 2007.

## APÊNDICES

APÊNDICE A: Anotações de cada medida feita de  $MP_{2,5}$  e  $NP_{0,3}$ .

<b>ROTA 1 – PICO</b>				
<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3</sub> – 12 (cm<sup>-3</sup>)</i>
1	01/11/2016	16 :48 – 19 :43	23,06 – 2	179,581 – 41,059
2	03/11/2016	16 :52 – 19 :20	43,52 – 9,4	243,313 – 34,022
3	04/11/2016	16 :50 – 19 :23	48,56 – 7,88	233,838 – 21,125
4	22/03/2017	16 :52 - 19 :36	48,83 – 2,28	138,083 – 34,581
5	23/03/2017	16 :38 – 18 :55	46,19 – 3,93	216,485 – 41,409
6	24/03/2017	17 :05 – 19 :34	45,4 – 1,0	255,693 – 19,917
7	10/04/2017	17 :13 – 19 :39	43,0 – 4	232,227 – 41,932
8	11/04/2017	17 :20 – 19 :35	76,71 – 10	186,874 – 28,298
9	12/04/2017	17 :11 – 19 :33	31,79 – 3,61	44,972 – 25,312

<b>ROTA 1 – NÃO PICO</b>				
<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3</sub> – 12 (cm<sup>-3</sup>)</i>
1	25/10/2016	12 :39 – 14 :13	-----	134,165 – 15,491
2	26/10/2016	10 :03 – 12 :38	17,06 – 2,33	228,779 – 13,079
3	26/10/2016	13 :59 – 16 :44	57,23 – 2,25	237,727 – 19,878
4	11/11/2016	13 :59 – 16 :51	47,09 – 4,63	236,905 – 19,745
5	16/11/2016	09 :52 – 12 :18	32 – 5,92	182,141 – 37,919
6	16/11/2016	13 :53 – 16 :41	19,31 – 2,08	154,343 – 7,993
7	29/03/2017	13 :28 – 16 :48	46,73 – 0,9	167,54 – 11,542
8	30/03/2017	12 :54 – 16 :56	48,24 – 2,65	206,39 – 8,206



---

**ROTA 2 – PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3-12</sub> (cm<sup>3</sup>)</i>
1	18/10/2016	16 :50 – 19 :01	33,82 – 4,15	175,702 – 22,179
2	21/11/2016	16 :54 – 19 :20	32 – 7,01	200,184 – 28,205
3	22/11/2016	16 :53 – 19 :18	47 – 6,56	179,29 – 25,62
4	03/04/2017	16 :59 - 19 :27	42,98 – 8,78	192,038 – 43,868
5	04/04/2017	16 :53 – 19 :18	36,26 – 6,47	165,193 – 33,433
6	05/04/2017	17 :13 – 19 :32	-----	-----

---

**ROTA 2 – NÃO PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3-12</sub> (cm<sup>-3</sup>)</i>
1	20/10/2016	12 :46 – 16 :32	-----	268,705 – 161,598
2	24/10/2016	08 :58 – 11 :17	-----	290,568 – 45,531
3	24/10/2016	13 :29 – 16 :42	-----	183,885 – 37,347
4	10/11/2016	9 :39 – 11 :52	23,66 – 3	202,699 – 37,305
5	10/11/2016	12 :56 – 16 :50	61,77 – 2,88	210,645 – 31,683
6	11/11/2016	09 :57 – 12 :05	23,84 – 4,9	124,351 – 26,591
7	23/11/2016	13 :02 – 16 :50	60,68 – 7,13	342,529 – 22,049
8	23/11/2016	12 :57 – 16 :35	32,19 – 1	169,21 – 17,716

---

**ROTA 3 – PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub></i> <i>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</i>	<i>NP<sub>0,3-12</sub></i> <i>(<math>\text{cm}^{-3}</math>)</i>
1	07/11/2016	16 :59 – 19 :35	41 – 6,65	231,704 – 30,944
2	09/11/2016	17 :12 – 19 :41	31 – 4,48	241,673 – 28,073
3	23/03/2017	16 :51 – 19 :15	56,46 – 3	293,556 – 33,611
4	24/03/2017	16 :39 – 19 :10	57,49 – 5,69	222,938 – 31,308
5	27/03/2017	16 :53 – 19 :16	38,02 – 3	223,825 – 17,506
6	04/04/2017	17 :09 – 19 :31	32,51 – 7,62	207,971 – 42,590
7	05/04/2017	17 :16 – 19 :43	34,44 – 4,3	234,296 – 27,578
8	07/04/2017	16 :56 – 19 :25	28,19 – 5,08	154,935 – 22,915

---

**ROTA 3 – NÃO PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub></i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<i>NP<sub>0,3-12</sub></i> ( $\text{cm}^3$ )
1	31/10/2016	13 :40 – 16 :44	41,89 – 5,67	233,626 – 52,798
2	01/11/2016	09 :35 – 12 :03	73,19 – 6,23	222,018 – 59,534
3	01/11/2016	14 :09 – 16 :43	42,14 – 2,23	218,681 – 24,223
4	18/11/2016	10 :19 – 12 :43	40,37 – 4,75	223,903 – 13,999
5	21/11/2016	09 :06 – 11 :51	26,64 – 3,39	154,159 – 10,316
6	21/11/2016	14 :05 – 16 :51	32,68 – 2,44	155,183 – 13,41
7	03/04/2017	08 :57 – 11 :47	95,85 – 3,69	203,590 – 14,129
8	03/04/2017	14 :13 – 16 :52	90,41 – 2,37,9	131,361 – 8,828
9	04/04/2017	13 :46 – 16 :51	62,93 – 3,593	281,607 – 17,355

---

**ROTA 4 – PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3 - 12</sub> (cm<sup>-3</sup>)</i>
1	26/10/2016	16 :47 – 19 :44	40,77 – 2,98	222,897 – 3,518
2	27/10/2016	17 :00 – 19 :28	55,77 – 1,85	145,111 – 4,708
3	31/10/2016	16 :48 – 19 :09	26,44 – 7	169,718 – 55,784
4	23/11/2016	16 :53 – 18 :50	36,46 – 7,83	149,446 – 5,5705
5	24/11/2016	17 :05 – 19 :34	32,17 – 4	120,357 – 15,703
6	22/03/2017	16 :51 – 19 :25	47,18 – 15	117,719 – 9,477
7	28/03/2017	17 :01 – 19 :19	25,43 – 2	161,145 – 22,101
8	30/03/2017	17 :07 – 19 :35	26,81 – 5,23	191,096 – 14,807
9	03/04/2017	17 :05 – 19 :23	28,68 – 4,09	120,248 – 33,704

---

**ROTA 4 – NÃO PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3 - 12</sub> (cm<sup>-3</sup>)</i>
1	18/10/2016	09 :39 – 12 :08	-----	313,681 – 51,554
2	18/10/2016	14 :34 – 16 :59	-----	176,352 – 51,735
3	19/10/2016	09 :21 – 12 :22	-----	258,458 – 63,249
4	19/10/2016	13 :47 – 16 :59	-----	168,987 – 54,021
5	07/11/2016	11 :00 – 13 :07	66,91 – 9,51	215,047 – 50,242
6	22/11/2016	09 :47 – 11 :47	24,87 – 5,81	139,514 – 45,951
7	22/11/2016	13 :35 – 16 :51	51,79 – 3,61	149,135 – 25,615
8	23/11/2016	09 :31 – 11 :51	69,1 – 6,19	226,337 – 22,847

---

**ROTA 5 – PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3 – 12</sub> (cm<sup>-3</sup>)</i>
1	10/11/2016	16 :59 – 19 :20	28,03 – 2,59	-----
2	16/11/2016	16 :44 – 19 :42	87,39 – 3,48	-----
3	17/11/2016	16 :45 – 19 :38	32,25 – 2,86	220,008 – 14,373
4	27/03/2017	16 :54 – 19 :35	72,76 – 1,35	246,254 – 19,89
5	28/03/2017	16 :49 – 19 :05	-----	146,781 – 14,122
6	30/03/2017	17 :00 – 19 :15	85,19 – 2,58	223,958 – 14,285
7	07/04/2017	17 :02 – 19 :27	35,33 – 3,71	201,800 – 12,601
8	10/04/2017	17 :13 – 19 :19	45,16 – 5,29	177,234 – 23,174
9	11/04/2017	17 :13 – 19 :15	44,64 – 11,98	308,201 – 76,897

---

**ROTA 5 – NÃO PICO**


---

<i>MEDIDAS</i>	<i>DATA</i>	<i>HORA</i>	<i>MP<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>NP<sub>0,3 – 12</sub> (cm<sup>-3</sup>)</i>
1	03/11/2016	09 :59 – 12 :14	60,28 – 5,84	224,311 – 7,064
2	03/11/2016	13 :42 – 16 :48	21,53 – 5,78	167,999 – 10,931
3	04/11/2016	12 :53 – 16 :47	28,97 – 11,04	262,777 – 58,214
4	17/11/2016	08 :34 – 12 :30	56,55 – 3,58	125,082 – 17,70
5	17/11/2016	12 :31 – 16 :50	68,43 – 3,59	205,353 – 27,775
6	24/03/2017	11 :22 – 16 :55	38,84 – 1,52	193,656 – 23,425
7	28/03/2017	14 :05 – 16 :46	-----	145,406 – 5,250

APÊNDICE B: Composição elementar de todos os filtros analisados e coletados nos períodos de Pico e Não Pico. N = Número de vezes que o elemento apareceu em cada coleta.

PICO										
<i>Elementos ng/m<sup>3</sup></i>	<i>ROTA 1</i>	<i>N1</i>	<i>ROTA 2</i>	<i>N2</i>	<i>ROTA 3</i>	<i>N3</i>	<i>ROTA 4</i>	<i>N4</i>	<i>ROTA 5</i>	<i>N5</i>
Al	261,6	3	98,7	2	157,6	3	65,1	2	247,9	3
Ca	751,9	3	124,7	3	129,0	3	132,7	3	82,7	3
Fe	863,9	3	109,2	3	162,1	3	122,2	3	527,5	3
K	203,5	3	97,2	3	125,3	3	107,6	3	132,5	3
Na	445,2	2	377,3	1	842,4	2	635,9	2	718,2	3
S	1646,9	3	1549,1	3	1809,9	3	1659,0	3	1073,4	3
Si	427,1	2	35,6	1	77,5	2	69,8	2	41,3	1
Br	2,2	3	2,1	3	1,4	1	6,8	1	0	0
Cl	213,4	3	6,2	2	5,8	1	8,3	2	91,5	2
Cr	46,3	2	0	0	0	0	4,0	1	236,6	1
Cu	0	0	8,7	1	0	0	0	0	0	0
Mg	69,5	2	0	0	108,2	3	21,3	2	103,3	2
Mn	3,3	3	1,0	1	2,9	3	3,2	1	15,2	1
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	11,49	1
P	22,4	3	10,5	1	18,9	2	1,0	2	14,4	3
Pb	0,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Se	3,7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	26,5	3	1,3	1	4,8	2	0,6	1	18,8	1
V	5,6	1	5,0	1	0	0	0	0	0	0
Zn	30,1	3	15,1	3	26,1	3	9,4	3	15,3	3

<b>NÃO PICO</b>										
<i>Elementos</i> <i>ng/m<sup>3</sup></i>	<i>ROTA 1</i>	<i>N1</i>	<i>ROTA 2</i>	<i>N2</i>	<i>ROTA 3</i>	<i>N3</i>	<i>ROTA 4</i>	<i>N4</i>	<i>ROTA 5</i>	<i>N5</i>
Al	178,4	2	146,8	3	90,8	3	257,8	2	142,0	3
Ca	2009,2	3	183,4	3	128,4	3	169,2	3	173,9	3
Fe	292,6	3	169,4	3	305,6	3	1344,6	3	376,9	3
K	181,2	3	235,5	3	141,1	3	138,0	3	89,0	3
Na	503,1	2	219,2	3	681,5	3	0	0	289,3	2
S	1078,2	3	2148,3	3	1400,5	3	2648,2	3	1276,6	3
Si	138,6	3	29,6	3	49,5	3	79,0	2	79,5	2
Br	11,7	1	0	0	2,5	1	0	0	0	0
Cl	137,2	3	388,7	1	12,6	2	46,7	2	66,4	2
Cr	11,7	2	25,7	2	0	0	914,9	1	61,4	2
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	97,7	1	79,1	1	0	0	28,8	0	60,4	2
Mn	4,7	3	3,0	2	2,1	2	28,4	2	8,4	1
Ni	0	0	46,8	2	0,06	1	70,7	1	3,9	2
P	57,5	3	11,0	2	7,5	1	2,4	1	0	0
Pb	19,4	1	0	0	0	0	0	0	1,4	1
Se	0,8	1	0	0	0	0	0	0	0,8	1
Ti	41,9	3	4,0	2	13,7	3	6,4	2	12,5	3
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	1
Zn	20,5	3	11,7	0	15,8	3	9,8	3	24,6	3