

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IVO LAVORATO DIETRICH

MONITORAMENTO DE $MP_{2,5}$ EM PARQUES E PRAÇAS NO MUNICÍPIO DE
CURITIBA

CURITIBA

2018

IVO LAVORATO DIETRICH

MONITORAMENTO DE $MP_{2,5}$ EM PARQUES E PRAÇAS NO MUNICÍPIO DE
CURITIBA

Trabalho apresentado como requisito parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental , Setor de Tecnologia da Universidade
Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Michael Mannich

CURITIBA

2018



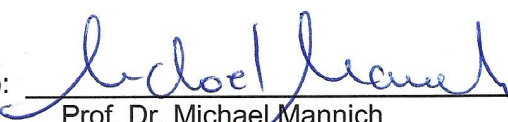
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

IVO LAVORATO DIETRICH

MONITORAMENTO DE $MP_{2,5}$ EM PARQUES E PRAÇAS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 9,7, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 
Prof. Dr. Michael Mannich
Departamento de Eng. Ambiental / UFPR

Membro(a) 1: 
Profa. Dra. Ana Flávia Locatelli Godoi
Departamento de Eng. Ambiental / UFPR

Membro(a) 2: 
Prof. Dr. Emílio Graciliano Ferreira Mercuri
Departamento de Eng. Ambiental / UFPR

Curitiba, 07 de dezembro de 2018

RESUMO

Os impactos na saúde pública e ao meio ambiente, são os principais motivadores do estudo de poluição atmosférica. O Material Particulado (MP) com diâmetro aerodinâmico menor que $2,5 \mu\text{m}$ tem potencial de chegar aos alvéolos pulmonares em humanos. Em ambientes urbanos, as principais fontes móveis são das emissões veiculares, acentuadas em horários de pico, horários nos quais muitas pessoas realizam exercícios físicos em parques urbanos e praças do município de Curitiba. Analisar a exposição de quem frequenta e pratica atividades físicas no Parque Jardim Botânico e nas Praças Ouvidor Pardinho e Oswaldo Cruz foi o objetivo desse estudo, que utilizou um sensor pessoal de baixo custo, baseado no espalhamento da luz chamado *AirBeam*. A forma de medição teve como objetivo simular o exercício dessas pessoas para se observar, a partir das legislações e diretrizes existentes para qualidade do ar, como se enquadram as médias e as variações instantâneas de Material Particulado fino. A forma com que os dados das medições é obtida permite observar as coordenadas geográficas específicas de cada valor medido, que é retornado a cada segundo. Dessa forma, foram elaborados mapas com as concentrações de cada coordenada percorrida e classificados de acordo com as classes definidas pela *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos da América. De modo a observar o comportamento das concentrações médias de acordo com as variáveis meteorológicas, foi utilizada a regressão linear múltipla para avaliar a contribuição de cada parâmetro. Os resultados indicaram alta variabilidade de dados dentro de cada sessão, assim como entre médias das sessões, de forma que constatou-se, a partir da análise de *box-plot*, que os períodos de maior tráfego apresentam maiores concentrações instantâneas e médias e que a Praça Oswaldo Cruz, que possui o maior tráfego de veículos dentre os locais de análise, se apresentou como a localidade de pior qualidade do ar. A regressão linear múltipla retornou maior influência da intensidade do vento, seguida da temperatura média diária. Foram identificados *hot-spots* específicos para cada sessão de medição, porém não foi constatado nenhum fator comum que determinasse esses pontos. Quanto às legislações utilizadas como referência, nenhuma média de sessão obtida se encontrou acima. O estudo abordou de uma forma alternativa, a problemática das concentrações de partículas finas, no qual mostrou potencial devido a possibilidade de medir concentrações de forma instantânea, mesmo considerando a sensibilidade limitada do equipamento.

Palavras-chaves: Material Particulado Fino. Sensor de Baixo Custo. Praças e Parques Urbanos. Qualidade do Ar. Saúde Pública

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tamanhos, classificações e fontes comuns de MP. FONTE: Adaptado de Mühlfeld et al. (2008)	14
Figura 2 – Concentração de PTS dentro e fora dos parques. FONTE: Yin et al. (2011)	22
Figura 3 – Variação das Concentrações Médias Anuais na Estação Ouvidor Pardiniho. FONTE: Dados dos Relatórios da Qualidade do Ar do IAP	26
Figura 4 – Mapa de Localização de Curitiba e dos Locais Escolhidos. FONTE: Autor (2018). Com dados do <i>OpenStreetMap</i>	28
Figura 5 – Mapa de Localização do Jardim Botânico. FONTE: Autor (2018). Com dados do <i>OpenStreetMap</i>	29
Figura 6 – Mapa de Localização da Praça Oswaldo Cruz. FONTE: Autor (2018). Com dados do <i>OpenStreetMap</i>	30
Figura 7 – Mapa de Localização da Praça Ouvidor Pardiniho. FONTE: Autor (2018). Com dados do <i>OpenStreetMap</i>	31
Figura 8 – Especificações do Equipamento <i>Airbeam</i> . FONTE: AirCasting (2010)	32
Figura 9 – Dimensões do Equipamento <i>Airbeam</i> . FONTE: AirCasting (2010)	33
Figura 10 – Sensor de Partículas Shinyei PPD60PV. FONTE: HabitatMap (2014)	34
Figura 11 – Sensor de Partículas Shinyei PPD60PV. FONTE: HabitatMap (2014)	34
Figura 12 – Interfaces do Aplicativo <i>AirCasting</i>	35
Figura 13 – Interfaces do Aplicativo <i>AirCasting</i> durante Medição no Jardim Botânico	36
Figura 14 – Correlação Entre Medidas do <i>Airbeam</i> e do pDR-1500 em Ambiente Externo. FONTE: Adaptado de HabitatMap (2014)	37
Figura 15 – Correlação Entre Medidas do <i>Airbeam</i> e do pDR-1500 para Emissões de Fumaça de Papelão Queimado. FONTE: Adaptado de HabitatMap (2014)	38
Figura 16 – Correlação Entre Medidas do <i>Airbeam</i> e do pDR-1500 para Concentrações Acima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. FONTE: Adaptado de HabitatMap (2014)	38
Figura 17 – Correlação Entre Medidas do <i>Airbeam</i> , do pDR-1500 e do Método Gravimétrico em Ambiente Externo. FONTE: Adaptado de HabitatMap (2014)	39
Figura 18 – Foto de Medição Realizada na Praça Ouvidor Pardiniho. FONTE: Autor(2018)	40
Figura 19 – Faixas de cores representativas das concentrações. FONTE: Autor(2018)	41
Figura 20 – Gráficos das curvas de distribuição acumulada na praça Ouvidor Pardiniho.	45
Figura 21 – Gráficos das curvas de distribuição acumulada no Parque Jardim Botânico.	46
Figura 22 – Gráficos das curvas de distribuição acumulada na praça Oswaldo Cruz.	47
Figura 23 – Temperatura Média x Concentrações Médias.	51

Figura 24 – Umidade Relativa Média x Concentrações Médias.	51
Figura 25 – Intensidade do Vento Média x Concentrações Médias.	52
Figura 26 – Precipitação Acumulada em 05 Dias Anteriores à Medição x Concentra- ções Médias.	52
Figura 27 – Precipitação Acumulada no Dia Anterior à Medição x Concentrações Médias.	52
Figura 28 – Box-Plots Referentes às Concentrações Médias de Cada Sessão. Legenda: (+): Média; (-): Máximos e Mínimos; Reta dentro da caixa: mediana; Fundo da caixa: 1º quartil; Topo da caixa: 3º quartil; Segmentos de reta ligado à caixa: limites superior e inferior.	56
Figura 29 – Box-Plots Referentes às Concentrações Médias Associadas aos Períodos de Medição. Legenda: (+): Média; (-): Máximos e Mínimos; Reta dentro da caixa: mediana; Fundo da caixa: 1º quartil; Topo da caixa: 3º quartil; Segmentos de reta ligado à caixa: limites superior e inferior.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de Qualidade do Ar Definidos pelo CONAMA	15
Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar Definidos na Proposta de Revisão do CONAMA e no Decreto 59.113 do Estado de São Paulo	16
Tabela 3 – Legislações Internacionais e Nacionais e Recomendações da OMS . . .	17
Tabela 4 – Poluentes Monitorados nas Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar de Curitiba no ano de 2013	23
Tabela 5 – Índices e Classificações de Partículas Inaláveis	23
Tabela 6 – Concentrações de PI de 2003 até 2013 na Cidade de Curitiba	24
Tabela 7 – Faixas de Concentração, Índices de Qualidade do Ar e Classificações .	41
Tabela 8 – Dados das Sessões de Medição Realizadas	44
Tabela 9 – Porcentagem (%) de Valores que Excederam Recomendações ou Legis- lações para Médias de 24 Horas na Praça Ouvidor Pardino	48
Tabela 10 – Enquadramento dos Valores Medidos de Acordo com as Sessões na Praça Ouvidor Pardino em Porcentagem	50
Tabela 11 – Coeficientes Obtidos pela Regressão Linear Múltipla e Comparação com Valores Encontrados no Vietnã e EUA	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOQ	Estação de monitoramento Boqueirão.
CO	Monóxido de carbono.
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente.
DETRAN	Departamento de Trânsito.
EEA	<i>European Environmental Agency.</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency.</i>
GPS	<i>Global Positioning System.</i>
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba.
MIC	Ministério da Indústria e do Comércio.
MP	Material particulado.
MP ₁₀	Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 10 _μ m.
MP _{2,5}	Material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 _μ m.
NH ₃	Amônia.
NO	Óxido de nitrogênio.
NO ₂	Dióxido de nitrogênio.
OMS	Organização Mundial da Saúde.
PAR	Estação de monitoramento Ouvidor Pardiniho.
PI	Partículas inaláveis.
PMC	Prefeitura Municipal de Curitiba.
PTS	Partículas totais em suspensão.
SO ₂	Dióxido de enxofre.
STC	Estação de monitoramento Santa Cândida.
WHO	<i>World Health Organization.</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	11
1.1.1	Objetivo Principal	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO	12
2.1	MATERIAL PARTICULADO	12
2.1.1	CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO	13
2.2	LEGISLAÇÃO	14
2.2.1	Legislação Brasileira	15
2.2.2	Legislação Internacional	16
2.2.2.1	Legislação Europeia	16
2.2.2.2	Legislação dos Estados Unidos da América	16
2.2.3	Comparação das Legislações	17
2.3	PRINCÍPIOS DE MEDIÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO	17
2.3.1	Método Gravimétrico	17
2.3.1.1	Amostrador HIVOL	17
2.3.2	Impactador Harvard	18
2.3.3	Monitor Radiação Beta	18
2.3.4	Microbalança Oscilante de Elemento Cônico (TEOM)	18
2.3.5	Sensores Baseados no Espalhamento de Luz	19
2.4	PROBLEMAS DE SAÚDE PÚBLICA	19
2.5	ESTUDOS EM AMBIENTES URBANOS	21
2.6	MONITORAMENTO DE MATERIAL PARTICULADO EM CURITIBA	23
2.6.1	Material Particulado em Curitiba	23
2.6.1.1	Monitoramento do IAP	23
2.6.1.2	Projeto ParCur	26
3	MÉTODOS	28
3.1	LOCAIS DE AMOSTRAGEM	28
3.1.1	Jardim Botânico	29
3.1.1.1	Dados de Tráfego	29
3.1.2	Praça Oswaldo Cruz	30
3.1.2.1	Dados de Tráfego	30
3.1.3	Praça Ouvidor Pardinho	31
3.1.3.1	Dados de Tráfego	32

3.2	Instrumento de Medição	32
3.2.1	Dados de Performance	36
3.3	Método de Medição	40
3.3.1	Análise Espacial	41
3.3.2	Análise Temporal	41
3.4	Análises Estatísticas	42
3.4.1	Coeficiente de Variação	42
3.4.2	Relação com Parâmetros Meteorológicos	42
4	RESULTADOS	44
4.1	Dados das Sessões Realizadas	44
4.2	Variações Temporais	44
4.2.1	Praça Ouvidor Pardinho	45
4.2.2	Parque Jardim Botânico	46
4.2.3	Praça Oswaldo Cruz	46
4.3	Enquadramento das Concentrações de Acordo com os Valores de Referência	47
4.4	Classificação de Acordo com EPA	49
4.5	Variáveis Meteorológicas	51
4.6	Variações Espaciais	54
4.7	Síntese dos Resultados	55
5	CONCLUSÕES	59
	Referências	61
A	MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA PRAÇA OUVIDOR PARDINHO	66
B	MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NO PARQUE JARDIM BOTÂNICO	73
C	MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA PRAÇA OSWALDO CRUZ	79

1 INTRODUÇÃO

Partículas são emitidas na atmosfera de uma variedade de fontes e possuem uma gama de propriedades morfológicas, químicas, físicas e termodinâmicas (WILSON et al., 2002). Nos ambientes urbanos, essas fontes são principalmente da frota de veículos, mas partículas também são emitidas na trituração de rochas, queima de materiais, como carvão ou madeira ou de processos industriais, quando se localizam próximos aos centros urbanos (BAIRD; CANN, 2008).

Material particulado em suspensão é um poluente importante em estudos de poluição atmosférica devido aos diversos impactos que ele causa à saúde humana e ao meio ambiente (ALEMIDA, 1999). Em 2012, no mundo todo, 3 milhões de mortes foram atribuídas a poluição do ar e a parcela da população mais sensível são as pessoas com problemas respiratórios, crianças, idosos ou praticantes de atividades físicas ao ar livre (WHO, 2012; WHO, 2005a).

Dados confiáveis da exposição aos poluentes atmosféricos e seus impactos à saúde relacionados são fatores chave para melhorar as políticas públicas quanto aos limites estabelecidos, pois dessa forma, pode-se restringir sua emissão de forma efetiva, para melhorar a qualidade de vida da população, prevenindo doenças e permitindo atividades físicas ao ar livre (WHO, 2012).

Existem inúmeras técnicas e métodos regulamentados de medir concentrações de material particulado no ar de forma pontual, tais como, análises gravimétricas, amostradores de grandes volumes, atenuação de radiação beta, método de microbalança, que possuem representatividade comprovada, porém essas medições podem não representar as concentrações que atingem as pessoas e suas vizinhanças, pois concentrações de Material Particulado (MP) podem variar de forma significativa temporal e espacialmente na mesma região (WANG et al., 2015). Da necessidade de monitorar MP de forma contínua e não fixa, surgem os sensores de partículas, de contagem e os que as medem através do espalhamento da luz.

O motivo de consultas médicas mais frequentes no município de Curitiba são doenças associadas ao aparelho respiratório e representam 19,6% de todas as consultas. Em relação à causas de morte, estão em quarto lugar. Mas o quadro é mais grave quando os dados referentes à crianças são analisados, de forma que representam 50% de consultas, em torno de 25% de internamentos e 9,5% de óbitos (PMC, 2000).

A cidade já conta com estações de monitoramento da qualidade do ar, mantidas pelo Instituto Ambiental do Paraná, que possuem equipamentos capazes de monitorar poluentes, como, Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis, SO₂, NO₂, NO, CO,

O₃ e NH₃ (IAP, 2013). Apesar do número de estações ser considerado satisfatório pela Diretriz 30 de 1999, que diz ser suficiente, duas estações para uma aglomeração populacional entre 1,500 milhões e 1,999 milhões de habitantes, se as concentrações máximas estiverem entre os limites superiores ou inferiores para fontes difusas (EU, 1999). Porém não existem formas de monitoramento em pequenos períodos de exposição e que possibilite mensurar a distribuição espacial, de modo que as estações tradicionais podem não representar a cidade como um todo ou a exposição pessoal, possibilidade atribuída aos sensores pessoais de baixo custo, que procuram distribuir o poder da informação entre toda a população exposta aos perigos da poluição do ar.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Principal

Medir a concentração de Material Particulado de diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 μm em praças e parques urbanos no município de Curitiba-PR em horários de grandes e pequenos fluxo de pessoas e veículos, a fim de verificar a exposição nesses horários em diferentes pontos dos parques, se os valores orientadores são ultrapassados e ainda, identificar possíveis *Hot-Spots* nos locais analisados.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Medir MP_{2,5} com o equipamento *AirBeam* em períodos específicos na cidade de Curitiba;
- Gerar mapas com os dados de concentrações para identificar a distribuição da poluição atmosférica nos locais analisados;
- Gerar curvas de distribuição acumulada com as concentrações de cada sessão de medição a fim de verificar os períodos de exposição às maiores concentrações de MP e sua variação ao longo do tempo;
- Investigar a relação entre as concentrações de material particulado e os períodos de análise escolhidos;
- Investigar a relação entre as concentrações de material particulado e os parâmetros meteorológicos;
- Analisar, a partir dos mapas e curvas de distribuição acumulada, se as concentrações medidas ultrapassam valores orientadores e os pontos de maior exposição, os quais, pessoas que utilizam os parques estão submetidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATERIAL PARTICULADO

As partículas sólidas ou em forma de gotículas líquidas são chamadas de aerossóis, quando estão em suspensão. Se essas partículas estão em estado sólido, nos referimos a elas como fumaça, poeira ou material particulado (WAYNE, 2000; BAIRD; CANN, 2008).

Essas partículas podem ser vistas a olho nu, como poeira e sujeira presentes no ar, fuligem aderida à superfícies ou fumaça proveniente de chaminés de fábricas ou da queima de combustíveis, mas também podem ser pequenas a ponto de só serem observadas através de um microscópio eletrônico (EPA, 2016). Sob a vista da legislação brasileira, segundo a Resolução CONAMA 03/1990, material particulado é definido como todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado (CONAMA, 1990).

O material particulado, assim como os outros poluentes, pode ser emitido diretamente na atmosfera, dessa forma são chamados de poluentes primários, enquanto os poluentes secundários são formados na atmosfera (PERKINS, 1974). As fontes de emissão de MP na atmosfera podem ser naturais ou antrópicas. Como fontes naturais, pode-se listar: as tempestades de poeira em áreas desérticas, os produtos da reação fotoquímica de gases entre ozônio produzido naturalmente e hidrocarbonetos, as erupções vulcânicas e a evaporação de spray de sal oceânico (PERKINS, 1974; WHO, 2005b). Quanto às fontes antrópicas, é certo que a atividade humana aumenta a concentração de aerossóis sólidos em grandes proporções e que o desenvolvimento relacionado a expansão de áreas urbanas têm sido a causa primária da deterioração da qualidade do ar (WAYNE, 2000).

A origem principal dessas partículas em atividades antrópicas é advinda do processo de combustão. Quando a queima é incompleta, formam-se as partículas finas, devido à coagulação de espécies ainda menores de particulado (principalmente, cristais de carbono) através de reações químicas. Portanto, os veículos, principalmente os movidos a diesel, são umas das mais importantes fontes de material particulado na atmosfera, visto que a toxicidade de produtos da queima de combustíveis é mais acentuada que da queima de biomassa (BAIRD; CANN, 2008; LIM et al., 2010; BRAGA et al., 2001). A emissão de partículas também ocorre devido à queima de carvão, óleo combustível e madeira ou atividades como cultivo da terra e a trituração de rochas em pedreiras. Também são consideradas partículas finas suspensas os compostos inorgânicos de enxofre, que se originam da oxidação do dióxido de enxofre gasoso, em um processo que dura horas ou dias e forma ácido sulfúrico e sulfatos, além de compostos de nitrogênio (BAIRD; CANN, 2008; LADEN et al., 2000).

A composição de MP na atmosférica pode ser muito variada, dessa forma, é possível que se encontre centenas de espécies químicas na composição das partículas, pois depende de sua origem e de suas interações na atmosfera. Porém, existem alguns grupos que são encontrados em maiores concentrações, por exemplo, sulfatos, nitratos, carbono elementar, compostos orgânicos condensados, carbono orgânico e alguns metais (GODISH; FU, 2003).

2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO

As partículas são classificadas de acordo com seu diâmetro aerodinâmico (diâmetro de uma partícula esférica com densidade de $1g/cm^3$) e podem ser consideradas inaláveis (MP_{10}), diâmetro menor que $10\ \mu m$ ou inaláveis finas ($MP_{2,5}$), diâmetro menor que $2,5\ \mu m$ (BAIRD; CANN, 2008), além das ultrafinas ($MP_{0,1}$) e a soma delas no ar, as partículas totais em suspensão. O tamanho das partículas é um parâmetro importante para determinar quão longe elas podem chegar no organismo humano (LADEN et al., 2000; VELLINGIRI et al., 2015).

Material particulado pode ser classificado, de acordo com EPA (2016), CETESB (2001) e Mühlfeld et al. (2008) como:

- Partículas Totais em Suspensão (PTS): Representa a totalidade das partículas sólidas ou líquidas presentes na atmosfera.
- MP_{10} : Partículas inaláveis, com diâmetros menores que $10\ \mu m$, compostas, em sua parte mais grossa, de cristais, sal marinho e componentes biológicos. Em geral, não superam os filtros do organismo humano e ficam retidas na parte superior do sistema respiratório;
- $MP_{2,5}$: Partículas inaláveis finas, com diâmetros que são de $2,5\ \mu m$ e menores. Partículas geralmente provenientes de processos de combustão. São compostas, em sua maioria, de metais, hidrocarbonetos e partículas secundárias geradas através de reações químicas com compostos gasosos na atmosfera. Partículas desse tamanho tem a capacidade de atingir os alvéolos pulmonares;
- $MP_{0,1}$: Partículas chamadas de ultrafinas, possuem composição e fonte similares às finas, porém detém a capacidade de entrar nos vasos capilares dos pulmões, devido ao seu tamanho muito pequeno.

A Figura 1 exemplifica as relações entre o tamanho das partículas e suas fontes de emissão comuns. É possível observar que para MP_{10} , as fontes demonstradas são pó de carvão e cinzas de carvão. Para $MP_{2,5}$, são da fumaça de aquecimento de metais, sais marinhos, fumaça de cigarros e escapamentos de veículos a diesel. Enquanto de $MP_{0,1}$

são provenientes de fontes similares às de $MP_{2,5}$, além de nanopartículas, produzidas de forma antrópica por processos produtivos de nanotecnologia, as quais são mais danosas à saúde, devido ao tamanho (LI; XIA; NEL, 2008). As emissões industriais são responsáveis pelos lançamentos tanto de $MP_{2,5}$ quanto de MP_{10} , pois a queima de carvão ou produtos similares emite partículas de tamanhos pequenos e grandes e ainda nota-se que as menores partículas são emitidas pelos escapamentos da frota veicular.

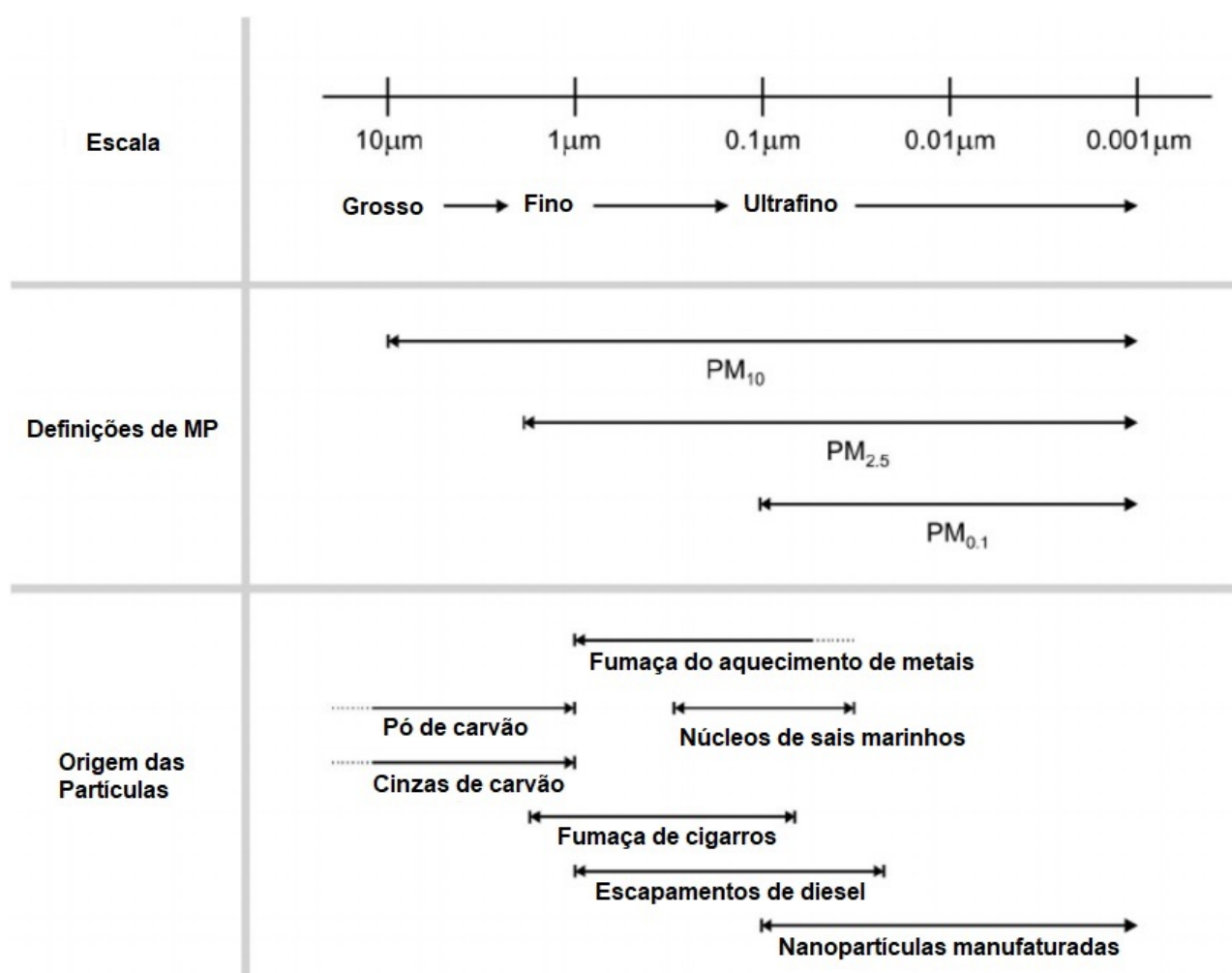


Figura 1 – Tamanhos, classificações e fontes comuns de MP. FONTE: Adaptado de Mühl-feld et al. (2008)

2.2 LEGISLAÇÃO

Sabendo-se dos impactos à saúde humana causados pelo material particulado, surge a necessidade da regulamentação pelos órgãos governamentais (ALEMIDA, 1999). A seguir serão apresentados os padrões definidos nas legislações nacionais, internacionais e as recomendações da Organização Mundial da Saúde, com enfoque nos padrões primários, pois se as concentrações desse padrão são ultrapassadas, entende-se que podem afetar a saúde humana (CONAMA, 1990).

2.2.1 Legislação Brasileira

A Resolução 03 de 1990, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) definia os padrões primários e secundários para os poluentes atmosféricos: Partículas Totais em Suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (PI), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio até ser revisada e alterada pela Resolução 491 de 2018. A Tabela 1 apresenta os antigos padrões para PTS, fumaça e PI.

Tabela 1 – Padrões de Qualidade do Ar Definidos pelo CONAMA

Poluente	Tipo de Padrão	Média no Período de 24 Horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média no Período de 1 Ano ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PTS	Primário	240	80
	Secundário	150	60
Fumaça	Primário	150	60
	Secundário	100	40
PI	Primário e Secundário	150	50

Fonte: [CONAMA \(1990\)](#)

É importante ressaltar que a revisão da Resolução CONAMA 03/1990 retirou o padrão de PTS e foram incluídos para MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$, com metas intermediárias progressivas, com a finalidade de aumentar as restrições até os padrões finais almejados, compatíveis com os limites recomendados pela OMS, porém os padrões intermediários até chegar no padrão recomendado pela OMS será atingido apenas em 2033, visto que os padrões serão atualizados apenas a cada cinco anos, de acordo com relatórios elaborados pelo CONAMA. Os novos padrões vigentes e propostos estão dispostos na Tabela 2.

Outra legislação que é pertinente destacar, é o Decreto 59.113, de 2013, que define para o Estado de São Paulo, seus próprios limites para os poluentes: SO_2 , CO, MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$, PTS, fumaça, chumbo no material particulado, NO_2 e O_3 ([ALESP, 2013](#)). Os padrões intermediários e finais para MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ da proposta da nova Resolução CONAMA são iguais aos do Decreto e estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar Definidos na Proposta de Revisão do CONAMA e no Decreto 59.113 do Estado de São Paulo

Poluente	Tipo de Padrão	Média no Período de 24 Horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média no Período de 1 Ano ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MP ₁₀	Padrão Intermediário 1	120	40
	Padrão Intermediário 2	100	35
	Padrão Intermediário 3	75	30
	Padrão Final	50	20
MP _{2,5}	Padrão Intermediário 1	60	20
	Padrão Intermediário 2	50	17
	Padrão Intermediário 3	37	15
	Padrão Final	25	10

Fonte: [ALESP \(2013\)](#), [CONAMA \(2018\)](#)

2.2.2 Legislação Internacional

2.2.2.1 Legislação Europeia

Poluição do ar tem sido uma das preocupações políticas desde os anos de 1970. Os instrumentos principais são uma série de diretrizes regulando padrões de qualidade do ar para prover proteção da poluição do ar excessiva, baseadas nas últimas pesquisas sobre os efeitos da poluição do ar na saúde. Para MP₁₀ e MP_{2,5}, os padrões definidos são 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente ([EU, 2008](#)), conforme Tabela 3. Apesar da existência de um padrão estabelecido para toda a União Europeia, cada país tem a possibilidade de estabelecer seus próprios padrões.

2.2.2.2 Legislação dos Estados Unidos da América

Em 1971, a EPA (*Environmental Protection Agency* ou Agência de Proteção Ambiental) estabeleceu Padrões Ambientais de Qualidade do Ar Nacionais (*National Ambient Air Quality Standards - NAAQS*) para Partículas Totais em Suspensão e considerava padrões primários de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, na média de 24 horas e 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para média geométrica anual ([EPA, 2013](#)).

Desde então, a legislação passou por modificações, em 1987 começou a considerar MP₁₀ como indicador e em 1997, incluiu padrões de valores para MP_{2,5}. Teve modificações em 2006 até 2013, quando definiu para MP_{2,5}, 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para média geométrica anual e

$35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para média de 24 horas. Para MP_{10} , definiu como valor $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para média de 24 horas.

2.2.3 Comparação das Legislações

Na Tabela 3, encontram-se dispostos os valores limites das legislações americana, europeia e os padrões intermediários da brasileira, assim como concentrações máximas recomendadas pela Organização Mundial da Saúde para $\text{MP}_{2,5}$. Nota-se que a legislação brasileira ainda não contempla partículas finas e o MP_{10} está representado como Partículas Inaláveis e, se comparados aos limites adotados na União Europeia e recomendados pela OMS, são muito permissivos. É evidente, ainda, que nem as legislações que estão entre as mais restritivas do mundo quanto ao material particulado, dos Estados Unidos da América e União Europeia, satisfazem as recomendações da OMS em termos de MP_{10} , porém são muito próximos.

Tabela 3 – Legislações Internacionais e Nacionais e Recomendações da OMS

Entidade	Parâmetro	Média no Período de 24 Horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média no Período de 1 Ano ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PI-1 CONAMA	MP_{10}	120	40
	$\text{MP}_{2,5}$	60	20
EPA	MP_{10}	150	Não Definido
	$\text{MP}_{2,5}$	35	12
Europe Union	MP_{10}	35	28
	$\text{MP}_{2,5}$	35	17
WHO	MP_{10}	50	20
	$\text{MP}_{2,5}$	25	10

Fonte: [EU \(2008\)](#), [EPA \(2013\)](#), [CONAMA \(1990\)](#), [WHO \(2005a\)](#)

2.3 PRINCÍPIOS DE MEDIÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO

2.3.1 Método Gravimétrico

No método gravimétrico, partículas da atmosfera são coletadas em um filtro, geralmente, de Teflon, através de um amostrador de pequenos ou grandes volumes. É necessário que o período de coleta seja de 24 horas a inúmeras semanas, devido ao tempo que se leva para agregar massa suficiente ao filtro e à sensibilidade da balança usada para pesar os filtros, sendo assim, os filtros gravimétricos não são adequados para observar mudanças de concentração a curto prazo ([WILSON et al., 2002](#)).

2.3.1.1 Amostrador HIVOL

Um dos equipamentos mais utilizados para amostragem é o amostrador de grandes volumes (*high volumes*) é uma unidade compacta composta por uma estrutura protetora,

um motor elétrico, uma bomba capaz de movimentar grandes volumes de ar, um filtro e um controlador de fluxo. O equipamento captura o ar através de uma entrada uniforme em todos os lados e a estrutura da parte superior permite que o ar amostrado seja distribuído na superfície do filtro. É normalmente utilizado para medições de PTS ou MP₁₀ (EPA, 1999). Posteriormente, é empregado o método gravimétrico para determinação das concentrações.

2.3.2 Impactador Harvard

O equipamento funciona de forma a separar MP₁₀ e MP_{2,5}. É composto do bocal de admissão, dois corpos coletores, um disco suporte, um corpo impactador, um disco impactador e necessita de filtro. O filtro é preso no disco suporte e o ar entra pelo bocal e é acelerado em direção ao disco impactador, em seguida, as partículas de diâmetro maior que 2,5 μm ficam retidas no disco. A inércia faz com que as partículas maiores se choquem com o disco, que é umedecido com óleo mineral e as outras partículas menores, de diâmetro menor que 2,5 μm atravessam a região do disco e são depositadas no filtro, que é pesado em laboratório posteriormente (ANDRÉ, 2014).

2.3.3 Monitor Radiação Beta

O equipamento é composto por um aparato de entrada que seleciona os tamanhos das partículas, uma fita filtrante, uma fonte de raios beta e um detector de raios beta. As partículas menores que o tamanho selecionado na entrada são coletadas em um único ponto e ficam retidas em certo comprimento na fita. A diferença de transmissão dos raios beta através da fita antes e depois da filtragem de partículas em conjunto com parâmetros ajustados é usada pra determinar a massa coletada (CHUNG et al., 2001). Sua utilização como indicador da massa de partículas coletadas em filtro de Teflon tem sido utilizada de forma efetiva e fornece resultados, praticamente, em tempo real com intervalos na ordem de uma hora (WEDDING; WEIGAND, 1993; WILSON et al., 2002). A medição da concentração mássica dos aerossóis consiste na análise da relação entre a massa das partículas e a atenuação dos raios beta (TAKAHASHI; MINOURA; SAKAMOTO, 2008). Hoje, é o método utilizado como referência para medir partículas no ar.

2.3.4 Microbalança Oscilante de Elemento Cônico (TEOM)

O componente essencial do TEOM (Tapered Element Oscilating Microbalance) é um elemento cônico, oco, que é forçado a oscilar em sua frequência natural através de placas de campo magnético e um sistema de "feedback". O filtro é montado na extremidade livre do elemento cônico e o fluxo volumétrico é controlado. Resumidamente, seu funcionamento pode ser representado por um sistema massa-mola, no qual a mudança na massa é correlacionada com a mudança na frequência de oscilação. O TEOM mede a frequência de

oscilação e calcula a mudança no peso do filtro, aproximadamente, 05 vezes por segundo. O equipamento é controlado por um *software*, que possui temporizador e gerencia entradas e saídas de dados no quadro digital (GILBERT; CLARK, 2001).

2.3.5 Sensores Baseados no Espalhamento de Luz

Sensores de partículas baseados no espalhamento da luz são uma alternativa de grandes vantagens em relação a outros amostradores para medir material particulado, pois em geral, possuem tamanho compacto, são leves e em geral, de baixo custo e consumo de energia, além de gerar dados em tempo real. Têm sido muito utilizados para coletar dados pessoais de exposição e como monitor de MP, pois podem auxiliar na localização de *Hot-Spots*, na geração de dados com maior resolução espacial, visto que são utilizados para medições móveis ou fixas (WANG et al., 2015; JOHNSON et al., 2016), pois podem ser usados em movimento. Esses sensores são, tipicamente, compostos de um diodo que emite luz infravermelha, um fototransistor e lentes de foco e medem as propriedades óticas das partículas como um conjunto, de forma que seu custo é muito reduzido, porém sua acurácia limitada (WANG et al., 2015).

2.4 PROBLEMAS DE SAÚDE PÚBLICA

Inúmeras investigações têm demonstrado a relação entre as concentrações de material particulado e efeitos adversos à saúde humana (LIPPMANN, 2003). Em relação aos impactos causados pelas partículas finas no organismo humano, estudos epidemiológicos foram realizados para encontrar possíveis conexões entre níveis elevados de $MP_{2,5}$ e mortalidade atribuível a diversas doenças, como diabetes, doenças cardíacas e doença pulmonar obstrutiva crônica (SAMOLI et al., 2014; VELLINGIRI et al., 2015). A população mais exposta aos riscos são pessoas com problemas respiratórios, crianças, idosos ou pessoas que praticam atividades físicas ao ar livre, visto que esportistas, durante seus exercícios, inspiram maior volume de ar, devido a respiração mais profunda (WHO, 2005a; EPA, 2003; BRAGA et al., 2001).

Martins et al. (2001) estudaram as relações entre os níveis diários de CO, O₃, SO₂, NO₂ e MP₁₀ com os casos de pneumonia e gripe no município de São Paulo, a partir de um estudo de séries temporais. Foram utilizados modelos aditivos generalizados de regressão de Poisson e foi observado que mesmo com os poluentes dentro dos limites de qualidade, ainda afetam a saúde de idosos. Ainda, foi possível afirmar a relação entre mortes fetais e a poluição do ar em um ambiente urbano (BRAGA et al., 2001).

Freitas et al. (2004) investigou os efeitos da poluição atmosférica, na cidade de São Paulo, na morbidade respiratória de menores de 15 anos em curto período de exposição. Foi utilizada regressão de Poisson em modelos aditivos, de modo que buscou-se obter a relação entre as variações diárias de poluentes como MP₁₀, CO e O₃. A partir dos

resultados, foi possível concluir que para um incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações de MP_{10} , há incremento de 1,1% nas mortes de idosos e 1,3% de internações por motivos de problemas respiratórios. Ainda foi observado que o material particulado foi o único poluente que permanece correlacionado com os problemas de saúde quando outros poluentes são incluídos na análise. Os resultados para menores de 15 anos indicaram incremento de risco relativo no 10^o ao 90^o percentil de 8,09% para MP_{10} .

A porta de entrada de material particulado no organismo humano são as vias aéreas superiores, pela boca ou nariz. A interação do material particulado com o epitélio respiratório tem a propensão de desencadear uma gama de efeitos, por exemplo, estimular os nervos sensoriais das vias aéreas, que afeta as funções do pulmão e do sistema nervoso autônomo e conseqüentemente, pode afetar funções cardíacas ([LIPPMANN, 2003](#)).

O tamanho das partículas está diretamente ligado ao potencial delas de causar danos à saúde humana([EPA, 2003](#)) e algumas das razões para esse fato são, segundo [Baird e Cann \(2008\)](#), [EPA \(2003\)](#) e [Lippmann \(2003\)](#):

- A partículas grossas sedimentam mais rapidamente, pois conforme preconiza a lei de Stokes, a velocidade na qual as partículas sedimentam, aumenta com o quadrado de seu diâmetro e dessa forma, a exposição humana a essas partículas é reduzida.
- Enquanto as partículas mais grossas são retidas de forma mais fácil pelos meios filtrantes do nariz e garganta e geralmente não chegam aos pulmões, as partículas finas na maioria dos casos, chegam e podem ser adsorvidas nas células.
- Pela diferença da área superficial por unidade de massa entre partículas mais finas para as mais grossas, a capacidade de transporte de moléculas de gás adsorvidas também difere em relação aos tamanhos, ou seja, as mais finas, cuja área superficial por unidade de massa é maior, possuem maior capacidade de transporte.
- Partículas ultrafinas (com diâmetro aerodinâmico menor que $2,5\mu\text{m}$) podem entrar nos vasos capilares dos pulmões, em seguida chegar e afetar direta ou indiretamente tecidos extrapulmonares, como fígado, medula óssea e coração.

Além desses efeitos, a co-presença de outros metais tóxicos relacionados ao tráfego de veículos, como Arsênio, Cério, Cobalto, Cromo, Cobre, Manganês, Níquel, Chumbo, Antimônio, Titânio com MP transportado pelo ar deve ser avaliada, para se considerar os possíveis impactos interativos de exposições a elementos combinados ([WISEMAN; ZEREINI, 2014](#); [VELLINGIRI et al., 2015](#)).

Com o objetivo de estimar a magnitude dos efeitos da exposição a MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ em curto espaço de tempo, [Lu et al. \(2015\)](#) analisou casos e séries temporais de 17 cidades chinesas. Os resultados, todos com intervalo de confiança de 95%, indicaram que um

aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{MP}_{2,5}$, resulta num aumento de 0,40% de risco de morte por causas não acidentais, 0,63%, devido a doenças cardiovasculares e 0,75% por doenças respiratórias. Para o mesmo aumento de MP_{10} , os aumentos foram 0,36%, 0,36% e 0,42%, respectivamente.

Para exposição a longo prazo, estima-se que para um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de MP_{10} , os riscos de morte devido a causas não acidentais, a doenças cardiovasculares e doenças respiratórias, aumentam 24%, 23% e 67% respectivamente (ZHANG et al., 2014) e (DONG et al., 2012).

2.5 ESTUDOS EM AMBIENTES URBANOS

Os efeitos do material particulado são acentuados em ambientes urbanos, em especial considerando o aglomerado populacional, a proximidade com fontes de poluição atmosférica e de zonas industriais. Adicionalmente, são ambientes que, devido a fenômenos atmosféricos como inversão térmica podem potencializar o efeito da poluição pela redução da dispersão dos poluentes. A seguir serão apresentados alguns trabalhos existentes sobre exposição ao material particulado em ambientes urbanos.

Vellingiri et al. (2015) monitoraram durante o ano de 2013, concentrações de MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ na área urbana de Yongsan, Seoul, Korea. As concentrações médias diárias de MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ foram $26,6 \pm 16,6$ e $45,0 \pm 20,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Verificou-se alta correlação das concentrações de MP e alguns gases poluentes, como CO , SO_2 e NO_x , o que indicou a semelhança dos processos de fontes contribuintes, como tráfego de veículos e emissões industriais. Os resultados de uma análise "*back-trajectory*" também indica que a poluição devido ao MP na área de estudo é provável ter sido afetada por várias fontes como poeira proveniente da Ásia, emissões vulcânicas e atividade industrial dos países vizinhos.

Yin et al. (2011) estudaram a atenuação da poluição atmosférica pelas árvores em 06 parques localizados na área residencial do distrito de Pudong, em Xangai, China. Foram monitorados os poluentes: partículas totais suspensas, SO_2 e NO_2 nas quatro estações do ano. Os dados de partículas totais suspensas foram coletados em intervalos constantes de 02 horas entre 09:00 horas e 15:00 horas em dias sem nuvens. Foram feitas medições nas estradas no arredores dos parques e dentro dos parques. Os resultados das medições de concentração de PTS são apresentados na Figura 2.

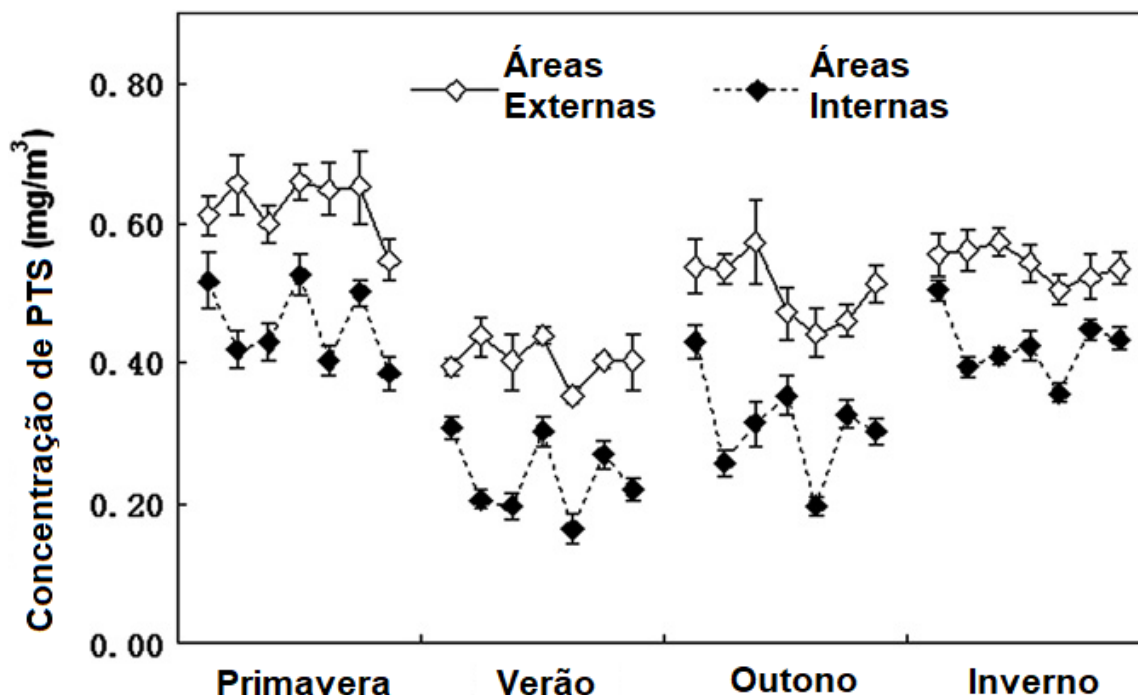


Figura 2 – Concentração de PTS dentro e fora dos parques. FONTE: Yin et al. (2011)

Como conclusão do estudo, os autores destacaram que a vegetação dos parques contribuem na remoção de PTS em 2 a 35%, de SO_2 em 2 a 27% e de NO_2 em 1 a 21%, dependendo da estação do ano. Dessa forma, pôde-se afirmar que as estruturas urbanas devem considerar os serviços ecossistêmicos em seus projetos, visando a redução da poluição (YIN et al., 2011).

Silva et al. (2012) analisaram as concentrações de MP_{10} na cidade de São Paulo em dois cenários, durante uma greve do metrô da cidade e com o metrô em situação normal, com o objetivo de analisar as diferenças de concentrações no ar da cidade durante uma greve do metrô, que obriga os cidadãos a utilizarem transportes como ônibus ou carros. Os dados foram coletados de 14 estações automáticas da cidade, sob responsabilidade da Companhia Estadual de Saneamento Básico de São Paulo (CETESB). A partir de dados de mesmos dias da semana, porém um durante greve e um em situação normal, obteve-se o resultado de que em condições similares durante o ano de 2003, em um dia de greve, a média de MP_{10} foi de $101,49 \pm 14,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e em um sem greve, $41,15 \pm 6,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. E no ano de 2006, em um dia de greve, a média foi de $78,02 \pm 15,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto em um dia normal, foi de $43,99 \pm 8,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Concluiu-se, a partir desse estudo, que as alterações de mobilidade urbana causadas pelas greves são capazes de desencadear grandes diferenças na qualidade do ar de uma cidade e os autores ainda afirmam a necessidade de se obter alternativas sustentáveis de transporte público, pois a dependência dos atuais modais afeta a qualidade do ambiente em que vivemos.

2.6 MONITORAMENTO DE MATERIAL PARTICULADO EM CURITIBA

No ano de 1985, a cidade de Curitiba passou a monitorar a qualidade do ar. A princípio, em 5 estações manuais, realizavam-se análises de fumaça, partículas totais em suspensão, SO_2 e NH_3 . Em 1988, foram estabelecidas, as primeiras estações automáticas, estação Santa Cândida (STC) e estação CIC. Em 2001, instalou-se a estação automática do Boqueirão (BOQ) e em 2002, a estação automática na Praça Ouvidor Pardiniho (PAR) (IAP, 2013). Até o ano de 2013, ano do último relatório do IAP disponível, se encontravam em atividade, as 04 estações automáticas e 01 estação manual (Santa Casa) com monitoramento dos poluentes indicados na Tabela 4, onde o parâmetro PI pode ser considerado MP_{10} , pois são as partículas inaláveis.

Tabela 4 – Poluentes Monitorados nas Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar de Curitiba no ano de 2013

Estação	Tipo de Estação	Poluentes Monitorados
Santa Cândida (STC)	Automática	SO_2 , O_3 , NO e NO_2
Cidade Industrial (CIC)		SO_2 , O_3 , NO e NO_2
Ouvidor Pardiniho (PAR)		SO_2 , O_3 , NO, NO_2 , CO, PTS e PI
Boqueirão (BOQ)		SO_2 , O_3 , CO, PTS e PI
Santa Casa (SC)	Manual	SO_2 , PTS e NH_3

Fonte: IAP (2013)

2.6.1 Material Particulado em Curitiba

2.6.1.1 Monitoramento do IAP

Estão disponíveis no portal do Instituto Ambiental do Paraná, Relatórios da Qualidade do Ar de 2001 até 2013. Nos relatórios são indicados resultados das medições de PI (MP_{10}) e indicadas faixas de concentrações atribuídas a índices de qualidade do ar, para padronizar as respectivas classificações, que estão indicadas na Tabela 5 para PI.

Tabela 5 – Índices e Classificações de Partículas Inaláveis

Índice da Qualidade	Classificação	Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0-50	BOA	0-50
>50-100	REGULAR	>50-150
>100-200	INADEQUADA	>150-250
>200-300	MÁ	>250-420
>300-400	PÉSSIMA	>420-500
>400	CRÍTICA	>500

Fonte: IAP (2013)

Com o objetivo de contextualização sobre o panorama de Material Particulado na cidade, serão apresentados os resultados dos relatórios de 2003 (primeiro ano com medições de PI em Curitiba) até 2013 (último relatório divulgado). Os dados disponíveis de PI até

o ano de 2010 são exclusivamente oriundos da estação da Praça Ouvidor Pardinho, pois até esse ano, a estação do Boqueirão não atendeu os critérios de representatividade. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Concentrações de PI de 2003 até 2013 na Cidade de Curitiba

Ano	Estação	Média Anual de PI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média Diária Máxima de PI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2003	Ouvidor Pardinho	15,1	31,0
2004	Ouvidor Pardinho	24,9	139,0
2005	Ouvidor Pardinho	21,6	96,5
2006	Ouvidor Pardinho	24,2	113,5
2007	Ouvidor Pardinho	24,8	121,0
2008	Ouvidor Pardinho	Não disponível	110,0
2009	Ouvidor Pardinho	15,6	84,0
2010	Boqueirão	26,4	129,0
	Ouvidor Pardinho	17,2	116,0
2011	Ouvidor Pardinho	18,03	102,9
2012	Boqueirão	23,92	119,0
	Ouvidor Pardinho	18,75	109,0
2013	Boqueirão	18,04	90,0
	Ouvidor Pardinho	16,91	86,0

Fonte: IAP (2013)

De acordo com a Tabela 6, as maiores concentrações médias anuais registradas foram nos anos de 2007 e 2010, nas estações Ouvidor Pardinho e Boqueirão, respectivamente. Quanto às maiores médias diárias, foram também nos anos de 2007 e 2010, nos valores de $121,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $129,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, além do ano de 2004, com concentração de $139,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. É importante ressaltar que o limite de MP_{10} é de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na resolução CONAMA, porém é recomendado pela OMS que não se ultrapasse o valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme Tabela 3 e sendo assim, apenas no ano de 2003 não houveram dias nos quais a concentração limite foi superada.

Em relação às classes definidas pelo IAP, em todos os anos, as médias diárias ficaram abaixo dos limites de classificação REGULAR ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em todos os anos, logo,

se enquadram na classe BOA. O gráfico ilustrado na Figura 3 demonstra as médias anuais e sua variação ao longo dos anos.

Algumas pesquisas sobre material particulado em Curitiba foram realizadas com o objetivo de observar os impactos à população da cidade e a composição das partículas encontradas no ar do município, conforme são apresentados a seguir:

Godoi et al. (2013a) caracterizaram, pela primeira vez, o material particulado encontrado nas estações-tubo na cidade de Curitiba. A amostragem de MP foi realizada em duas campanhas, em 05 estações, definidas a partir dos critérios: representatividade em relação ao restante da cidade; disponibilidade de energia elétrica e segurança. Dessa forma, foram definidas áreas comerciais, residenciais e centro da cidade. Com a utilização de filtros, o MP foi retido em uma membrana com poros de $0,4\mu\text{m}$ e para coleta de carbono negro, algumas unidades de filtro continham Pallflex[®] e então, foi realizada análise elementar para Silício, Alumínio, Potássio, Cálcio, Titânio, Ferro, Enxofre, Cloro, Manganês, Cobre, Zinco, Chumbo, Cromo, Níquel, Estrôncio e Vanádio. As partículas carbonáceas foram divididas em biogênicas, orgânicas e fuligem. Pôde-se concluir que a composição química do MP apresentou diferenças dentre os locais de análise e que os valores de concentrações medidos foram 1,5 a 3 vezes maiores nas áreas residenciais e comerciais e que a composição do agregado no centro da cidade possui elevado número de partículas biogênicas, orgânicas e de fuligem. Ainda, afirmou-se que há risco moderado de câncer para pessoas nas estações.

Godoi et al. (2013b) caracterizaram o material particulado presente em 06 escolas do município de Curitiba, duas delas no subúrbio próximas a polos petroquímicos e as restantes, em áreas urbanas. As amostragens foram divididas em duas sessões, a primeira contemplando 03 escolas e a segunda as outras 03 e ainda foi refeita amostragem em uma da primeira sessão. Ainda, foram atribuídos a dois alunos escolhidos, que carregassem um colar com amostradores passivos: um para SO_2 , NO_2 , H_{Ac} e H_{For} e outro para BTEX (Benzeno, Tilenos, Etilbenzeno e Xilenos), além de amostrar na residência dos alunos escolhidos para os mesmos compostos. Como resultado, observou-se que nas escolas em áreas urbanas, existe alta exposição a MP, proveniente da emissão dos veículos nas ruas próximas. Para as escolas próximas ao subúrbio, pôde-se observar que estão próximas a fontes de natureza antropogênica e que algumas doenças respiratórias nos alunos, podem ser atribuídas a essa contribuição. Ainda, foi possível afirmar que a presença da indústria petroquímica não é um fator determinante em relação aos gases inorgânicos. As concentrações de SO_2 foram semelhantes nos dois grupos, enquanto a de NO_2 foi maior nas escolas de zona urbana, fato que se deve ao fluxo de veículos nas regiões.

(POLEZER, 2015) analisou em Curitiba, durante os anos de 2008 a 2015, as concentrações médias anuais de $\text{MP}_{2,5}$, assim como calculou as frações de carbono negro e carbono marrom, determinou o fator de enriquecimento, a concentração elementar e os riscos associados. As médias anuais de $13\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $8,5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $13\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $7,0\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $3,0$

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para os anos de 2008 a 2015, respectivamente. Quanto ao limite da OMS, 31 médias diárias excederam e foi observado que não se concentraram no período seco, de modo que ficaram distribuídas ao longo do ano. Quatro fontes identificadas explicavam 82% da variação mássica de $\text{MP}_{2,5}$, sendo elas, provenientes de automóveis, de solo, industriais e aerossóis secundários, de forma que 60% foi atribuído às emissões veiculares. A avaliação do risco demonstrou que existe risco não carcinogênico para alguns elementos, porém o risco encontrou-se abaixo do limite estabelecido pela EPA. Recomendou-se redução de emissões veiculares e utilização de combustíveis limpos.

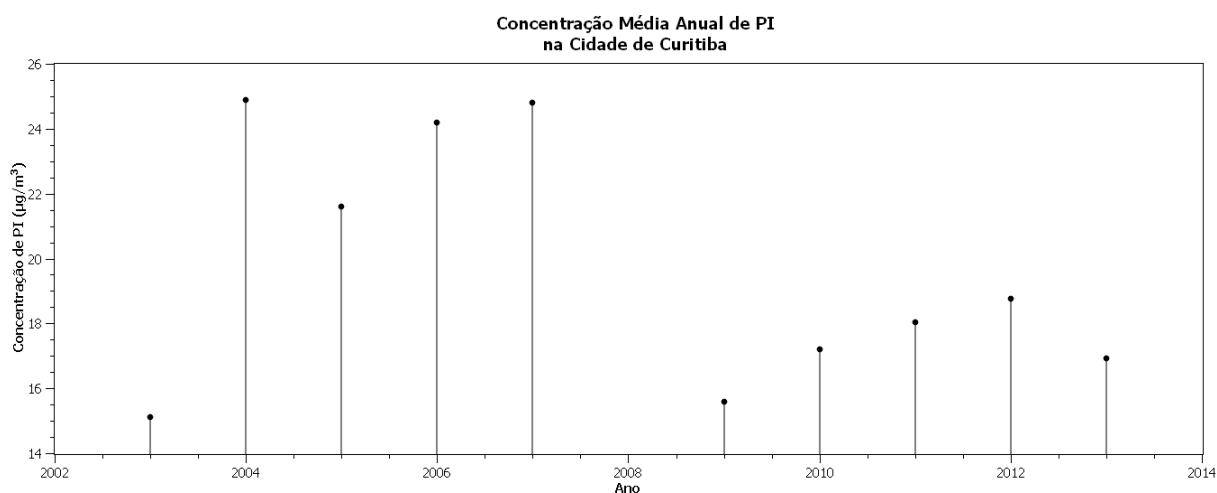


Figura 3 – Variação das Concentrações Médias Anuais na Estação Ouvidor Pardinho.
 FONTE: Dados dos Relatórios da Qualidade do Ar do IAP

2.6.1.2 Projeto ParCur

Pesquisadoras do Brasil e do *Swedish Meteorological and Hydrological Institute*, da Suécia uniram esforços e iniciaram o projeto ParCur (*Particles in Curitiba*), que tem como objetivos gerais, descrever as atuais emissões e níveis de concentração de material particulado respirável em Curitiba, sua variação temporal e espacial, além de determinar suas principais fontes; estimar as futuras concentrações de MP e carbono negro, para projetar os meios de atingir o desenvolvimento urbano sustentável. A primeira fase do projeto, que consistiu na avaliação das fontes e impactos à qualidade do ar de material particulado e carbono negro, teve seu início no ano de 2015 e terminou em junho de 2017 (GIDHAGEN, 2018).

As atividades conduzidas no primeiro estágio do projeto foram: coleta de dados de qualidade do ar preexistentes dos últimos anos; projetar e executar uma campanha de monitoramento onde pessoas estão expostas à maiores concentrações e onde estão expostas por períodos de tempo longos; desenvolver um inventário de emissões de (NO_x), MP e carbono negro que sejam adequados para incluir nos modelos de dispersão com alta resolução espaço-temporal; implementar os modelos de dispersão em escalas regional, urbana e local; analisar de forma integrada para ajustar e validar o inventário; apresentar as

distribuições das fontes com diferentes setores de emissão e suas respectivas contribuições para a situação dos poluentes analisados; mapear os níveis e identificar *Hot-Spots* dos poluentes; comparar as concentrações de qualidade do ar com as legislações brasileiras, com os padrões europeus de qualidade e com os padrões recomendados pela OMS (GIDHAGEN, 2018).

A campanha de monitoramento compreendeu os meses de julho e agosto de 2016, meses de inverno e foi realizada com três estações fixas para medições de $MP_{2,5}$ e carbono negro, duas na rua Marechal Deodoro (nível da rua e nível do teto) e uma no Sítio Cercado, além de 11 estações para amostragem passiva de NO_2 e NO_x . Foi realizado também, monitoramento móvel de $MP_{2,5}$ e carbono negro, utilizando bicicletas, foram percorridos 4 rotas no centro da cidade. (GIDHAGEN, 2018).

Em relação ao $MP_{2,5}$, as medidas realizadas durante o monitoramento móvel, foram feitas utilizando o equipamento *DustTrak 8520* e um aparelho GPS de alta precisão (GIDHAGEN, 2018).

A partir da análise dos Relatórios de Qualidade do Ar do IAP, constatou-se que as principais fontes de emissão são encontradas fora de Curitiba, na área industrial de Araucária (Região Metropolitana de Curitiba).

Como resultados do monitoramento de $MP_{2,5}$, o monitor ao nível da rua apresentou problemas e foram utilizados os dados do monitoramento móvel para a rua Marechal Deodoro, valor que foi estimado em $17 \mu g/m^3$ e o valor ao nível do teto foi de $7 \mu g/m^3$. Nas medições em áreas residenciais no Sítio Cercado, obteve-se o valor de $36,5 \mu g/m^3$ como média de 17 amostras diárias (GIDHAGEN, 2018).

Para analisar espacialmente a distribuição de $MP_{2,5}$, foram feitos polígonos entre 30 e 60m e calculada a média dos valores que se encontravam dentro dos polígonos. Foram encontrados alguns *Hot-Spots* em áreas com quantidades elevadas de veículos. A maioria dos valores se encontrou entre 21,0 e $28,0 \mu g/m^3$ e os *Hot-Spots* com concentrações acima de $28,0 \mu g/m^3$ (GIDHAGEN, 2018).

3 MÉTODOS

3.1 LOCAIS DE AMOSTRAGEM

Os locais de amostragem definidos foram entre os parques urbanos e as praças da cidade de Curitiba, pois o objetivo é analisar a exposição de frequentadores dos parques e de pessoas realizando exercícios físicos ao MP_{2,5}. Esses parques são conhecidos por estarem entre os mais utilizados de Curitiba e estão próximos a vias de grande circulação veicular, ou seja, de emissão constante de particulado.

A cidade de Curitiba é a capital do estado do Paraná e possui uma população estimada de 1.908.359 habitantes (IBGE, 2010). De acordo com dados do IPPUC, atualmente, existem mais de 700 locais, entre parques e praças na cidade. A frota de veículos é de 1.404.387, dentre eles, 959.132 são automóveis; 219.255 entre caminhões, caminhões trator e caminhonetes; e 128.142 são moto-cicletas (DETRAN, 2018). A Figura 4 apresenta a localização da cidade e de seus parques.

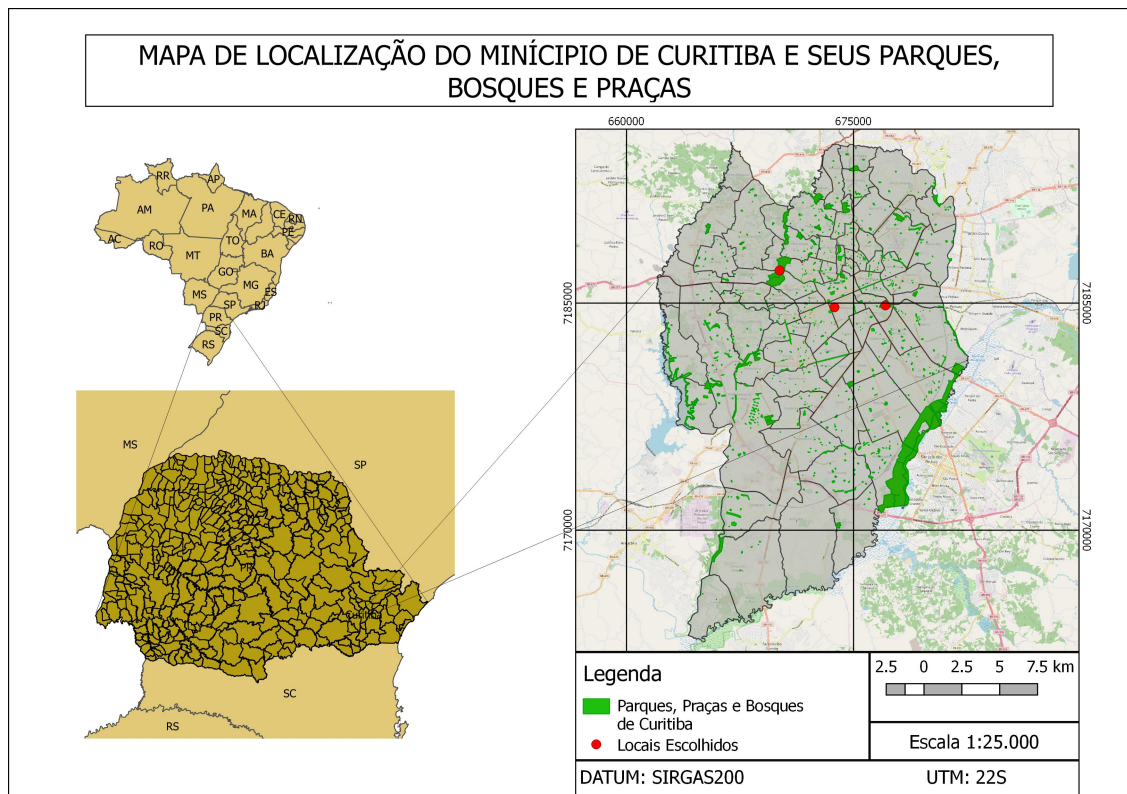


Figura 4 – Mapa de Localização de Curitiba e dos Locais Escolhidos. FONTE: Autor (2018). Com dados do *OpenStreetMap*

Foram escolhidos 3 locais dentre os parques e praças de Curitiba, os quais são frequentemente utilizados pela população para realização de atividades físicas após os períodos de trabalho. Foram eles, o Parque Jardim Botânico e as Praças Ouvidor Pardiniho

e Oswaldo Cruz, que estão indicados na Figura 4, conforme sua posição na cidade. A escolha dos locais foi baseada na localização, pois as duas praças se encontram no centro da cidade em locais de grande movimentação de veículos, enquanto o parque Jardim Botânico encontra-se em região levemente afastada do centro, mas também possui grande movimentação de veículos, principalmente devido à presença de dois campi universitários na região e ainda pode ser caracterizado pela presença de áreas verdes e por ser um dos principais pontos de referência da cidade de Curitiba.

3.1.1 Jardim Botânico

O Jardim botânico, de nome oficial Francisca Maria Garfunkel Rischbieter está localizado no bairro de mesmo nome, próximo à região central da cidade. Possui área de 178000 m² e é cercado pela Rua Engenheiro Ostoja Roguski, Avenida Professor Lothario Meissner e pela Rodovia BR-116, em um pequeno trecho (PMC, 2018b), como observado na Figura 5.

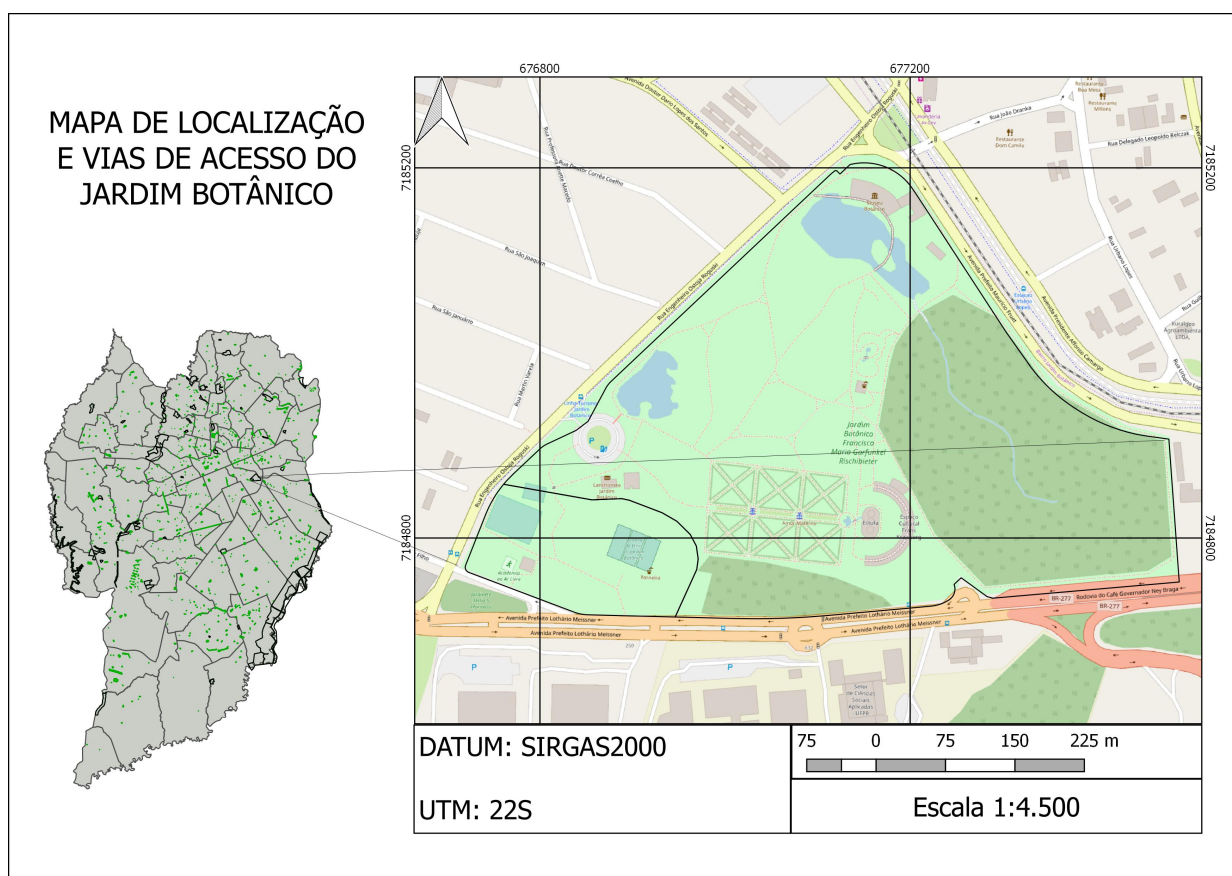


Figura 5 – Mapa de Localização do Jardim Botânico. FONTE: Autor (2018). Com dados do *OpenStreetMap*

3.1.1.1 Dados de Tráfego

Os dados de tráfego disponibilizados pelo IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba) apresentaram que, nos dias 10/10/2012 (quarta-feira) e

17/10/2012 (quarta-feira), entre 06:00 e 09:00, 11255 veículos transitaram na Av. Lothário Meissner ao lado do parque, dentre eles, 10534 foram automóveis de passeio, e o restante foi representado por caminhões e ônibus. Nos horários entre 17:00 e 20:00, 12128 veículos transitaram no local, de modo que 11626 eram carros (IPPUC, 2012).

3.1.2 Praça Oswaldo Cruz

A praça Oswaldo Cruz (Figura 6), localizada na Avenida Sete de Setembro, esquina com a Rua Lamenha Lins, no Centro de Curitiba é considerada um espaço de recreação para todos os públicos. Conta com pistas de corrida; academia ao ar livre; piscina coberta e aquecida; quadra poliesportiva e ginásio de esportes, além de áreas verdes, utilizadas para leitura ou descanso. (PMC, 2018a).

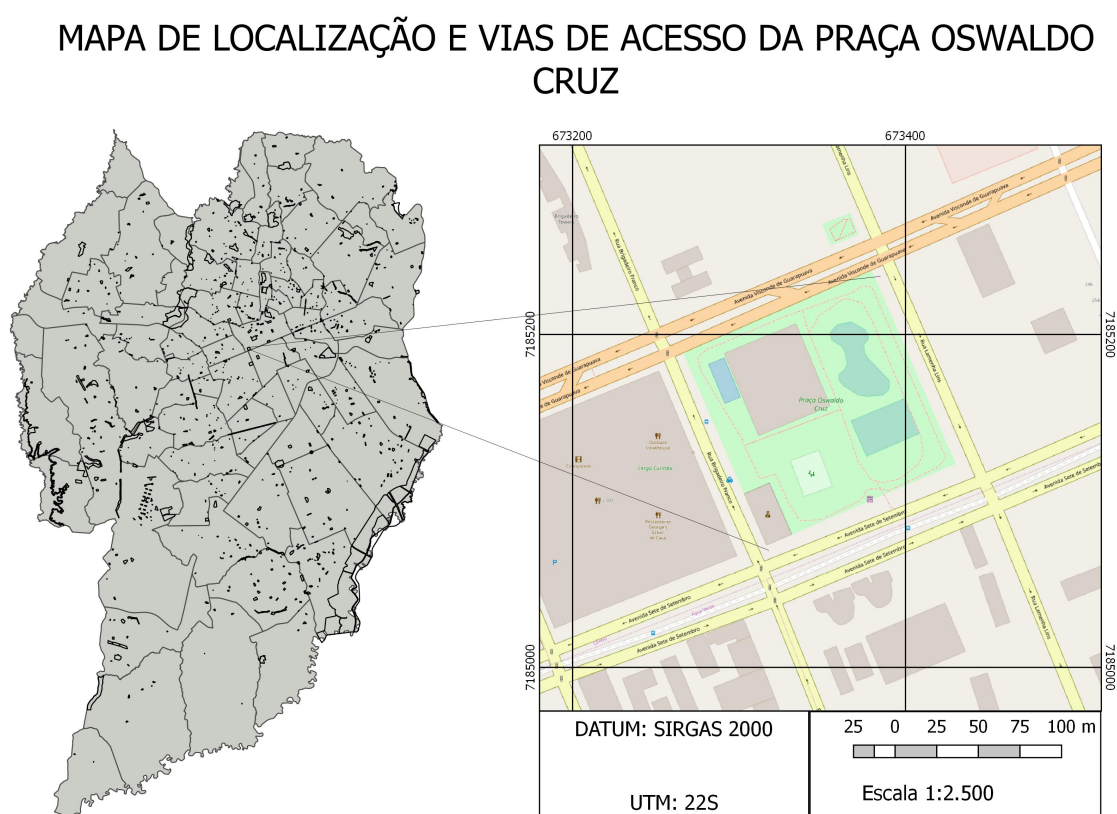


Figura 6 – Mapa de Localização da Praça Oswaldo Cruz. FONTE: Autor (2018). Com dados do *OpenStreetMap*

3.1.2.1 Dados de Tráfego

Com base no relatório do IPPUC do ano de 2012, foram escolhidas as duas esquinas reversas da praça para se calcular o tráfego, visto que nenhuma das ruas possui mão dupla. As esquinas escolhidas foram da Rua Brigadeiro Franco com a Avenida Visconde de Guarapuava e da Avenida Sete de Setembro com a Rua Lamenha Lins. Os dados da primeira são referentes ao dia 23 de maio (quarta-feira) e da segunda, 16 de outubro

(terça-feira). A soma de veículos que trafegaram nas duas esquinas no período entre 06:00 e 09:00 foi 14789, com 14185 carros. No período do fim da tarde até noite (17:00 às 20:00) observou-se 20158 veículos, sendo 19652 carros de passeio (IPPUC, 2012).

3.1.3 Praça Ouvidor Pardino

A praça Ouvidor Pardino (Figura 7), localizada no bairro Rebouças e possui 1817 m² de área. Situa-se entre as Avenidas Getúlio Vargas e Iguazu e as Ruas Nunes Machado e 24 de Maio. O local se encontra no muito próximo ao centro da cidade, portanto existe grande fluxo de veículos diariamente ao mesmo tempo que existe um grande número de pessoas praticando atividades físicas, pois na praça existe uma quadra de futebol, uma academia ao ar livre e pista de corrida, além de possuir uma unidade de saúde para procedimentos médicos e odontológicos da população que reside em Curitiba.

A praça também possui uma estação de monitoramento automático da qualidade do ar, que conta com um equipamento automático da marca *Environment S.A.*[®], modelo MP101M, que é utilizado para medições de MP₁₀. Os dados de PI medidos pela estação de 2003 a 2013 estão disponíveis na Tabela 6 e serão utilizados como parâmetros para o município de Curitiba em análises posteriores.

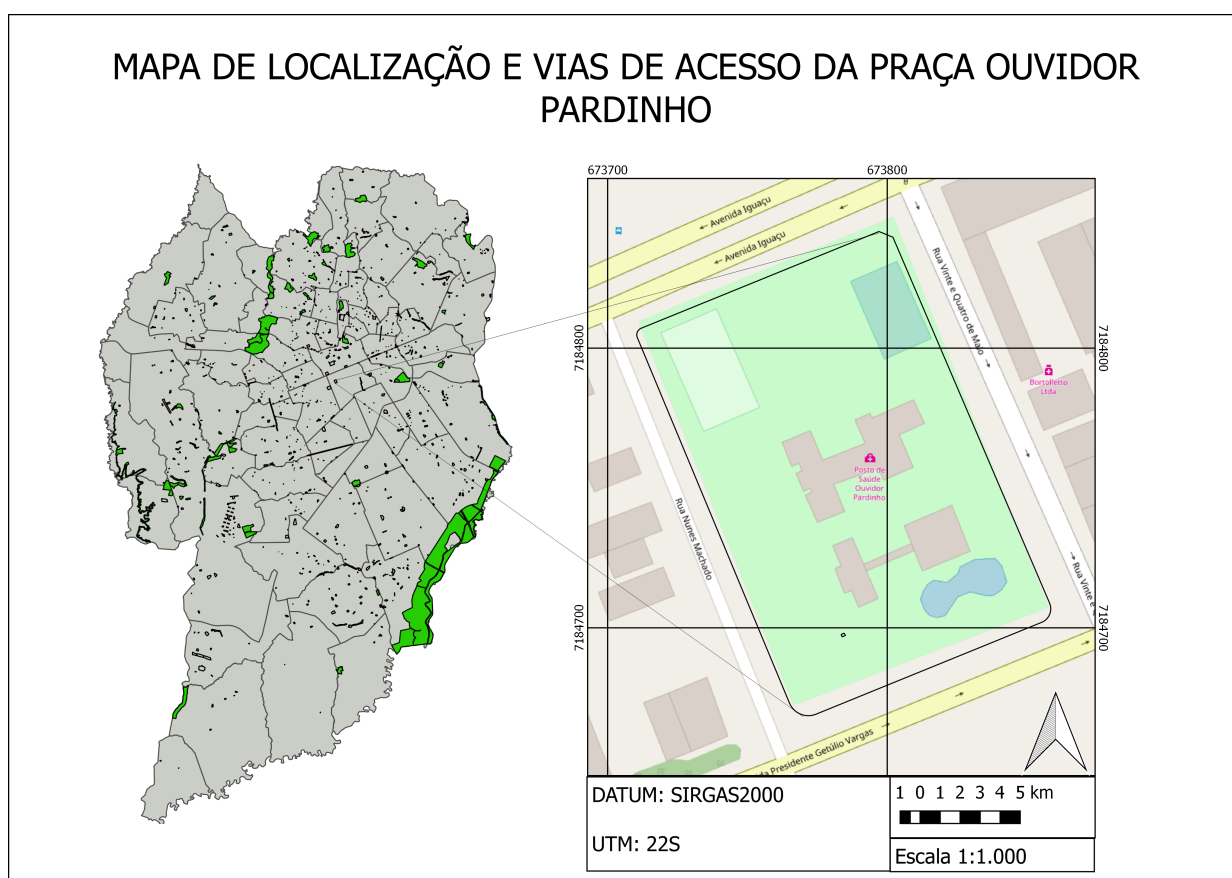


Figura 7 – Mapa de Localização da Praça Ouvidor Pardino. FONTE: Autor (2018). Com dados do *OpenStreetMap*

3.1.3.1 Dados de Tráfego

Como os dados disponíveis do IPPUC, foram somadas os tráfegos veiculares da esquina da Avenida Iguaçu com a Rua 24 de Maio, no dia 01/08/2012 (quarta-feira) e o fluxo da Avenida Getúlio Vargas ao lado da praça, no dia 20/06/2012 (quarta-feira). Foram observados, no período matutino (06:00 às 09:00), 9651 veículos (9031 carros) e no período das 17:00 às 20:00, 14345 veículos, de forma que 13739 eram carros (IPPUC, 2012).

3.2 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO

O instrumento utilizado para realizar as medições foi o "Airbeam", da marca HabitatMap. Um equipamento que possui sensor de partículas, de temperatura e de umidade relativa, projetado por uma comunidade de cientistas, educadores, engenheiros para ser utilizado de forma portátil, para tornar possível e acessível pessoas medirem a poluição atmosférica no seu entorno (HABITATMAP, 2014).

A Figura 8 ilustra as especificações e a Figura 9 as dimensões do equipamento.



Figura 8 – Especificações do Equipamento *Airbeam*. FONTE: AirCasting (2010)

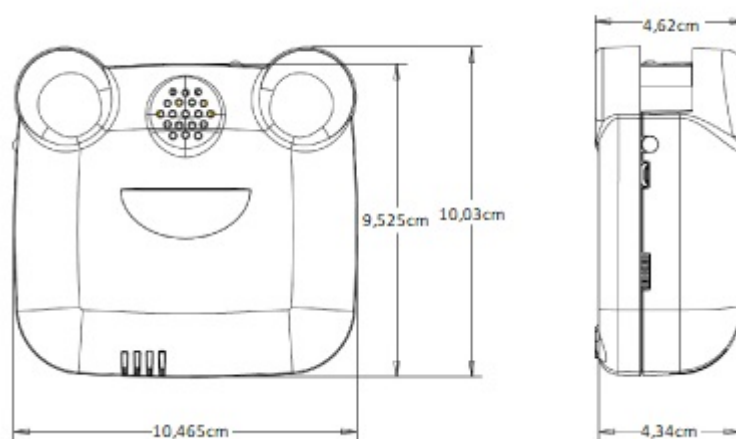


Figura 9 – Dimensões do Equipamento *Airbeam*. FONTE: [AirCasting \(2010\)](#)

O Airbeam utiliza um método de espalhamento da luz para medir $MP_{2,5}$, através do sensor PPD60PV, da marca *Shinyei Technology Co.* ilustrado nas Figuras 10 e 11. O ar é puxado para o equipamento através de um pequeno motor e o resistor aquece o ar, para que suba até o detector, em seguida, as partículas na corrente de ar, espalham a luz de uma lâmpada de LED. O espalhamento da luz é registrado por um detector e convertido em um sinal de pulso e através desse sinal, o sensor estima o número de partículas no ar. A estimativa é medida em hppcf (*hundreds of particles per cubic foot*), ou seja, centenas de partículas por pé cúbico, que é proporcional à quantidade de pulsos por unidade de tempo. Essa quantidade de pulsos é convertida, através de uma curva de calibração, para a unidade de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Essas medidas são enviadas a cada segundo, aproximadamente, para aparelho *Smartphone* conectado via *Bluetooth*, através do aplicativo da *AirCasting*, que gera mapas e gráficos automaticamente. Ao final de cada sessão, os dados são enviados para o endereço de e-mail indicado e para o website da *AirCasting*, plataforma livre para gravar, mapear e compartilhar dados de saúde pública e ambientais ([HABITATMAP, 2014](#); [AIRCASTING, 2010](#); [JOHNSON et al., 2016](#)).

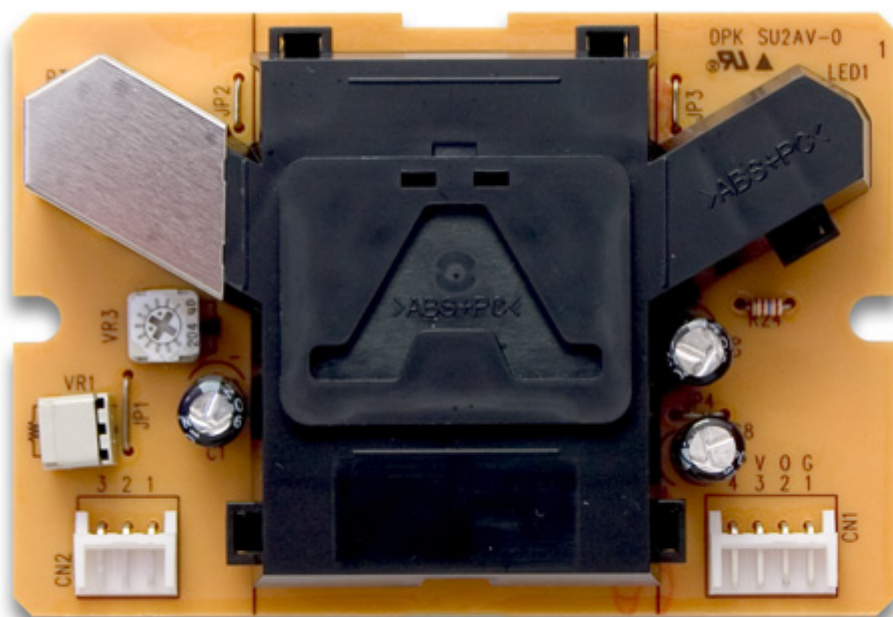


Figura 10 – Sensor de Partículas Shinyei PPD60PV. FONTE: [HabitatMap \(2014\)](#)

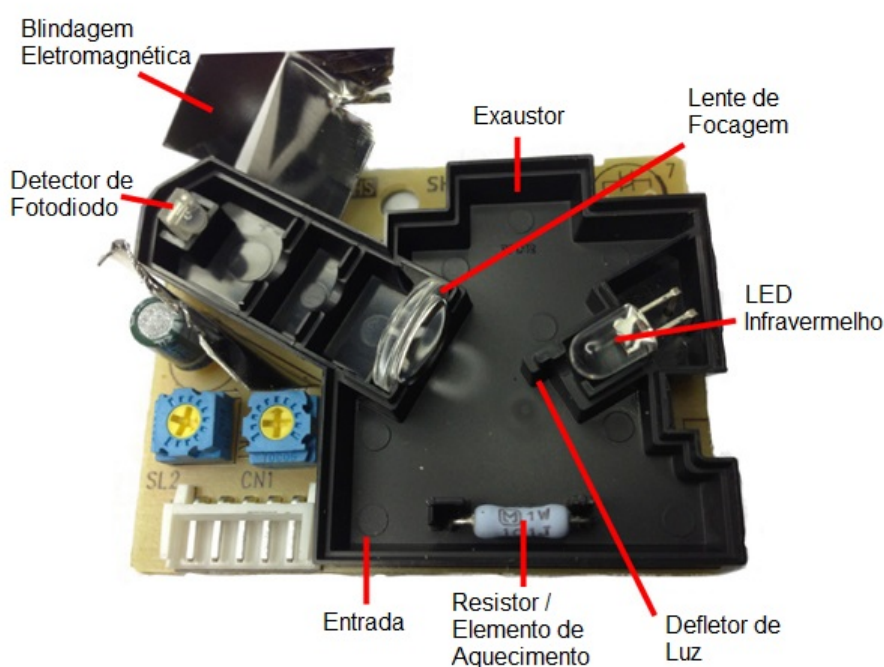


Figura 11 – Sensor de Partículas Shinyei PPD60PV. FONTE: [HabitatMap \(2014\)](#)

A Figura 11 indica os equipamentos internos do sensor, assim como os locais de entrada e saída do ar. O aplicativo *AirCasting* é disponibilizado gratuitamente para *Smartphone* com sistema operacional *Android*. O próprio aplicativo gera mapas e gráficos

das concentrações medidas em cada sessão. As interfaces do aplicativo podem ser vistas na Figura 12.

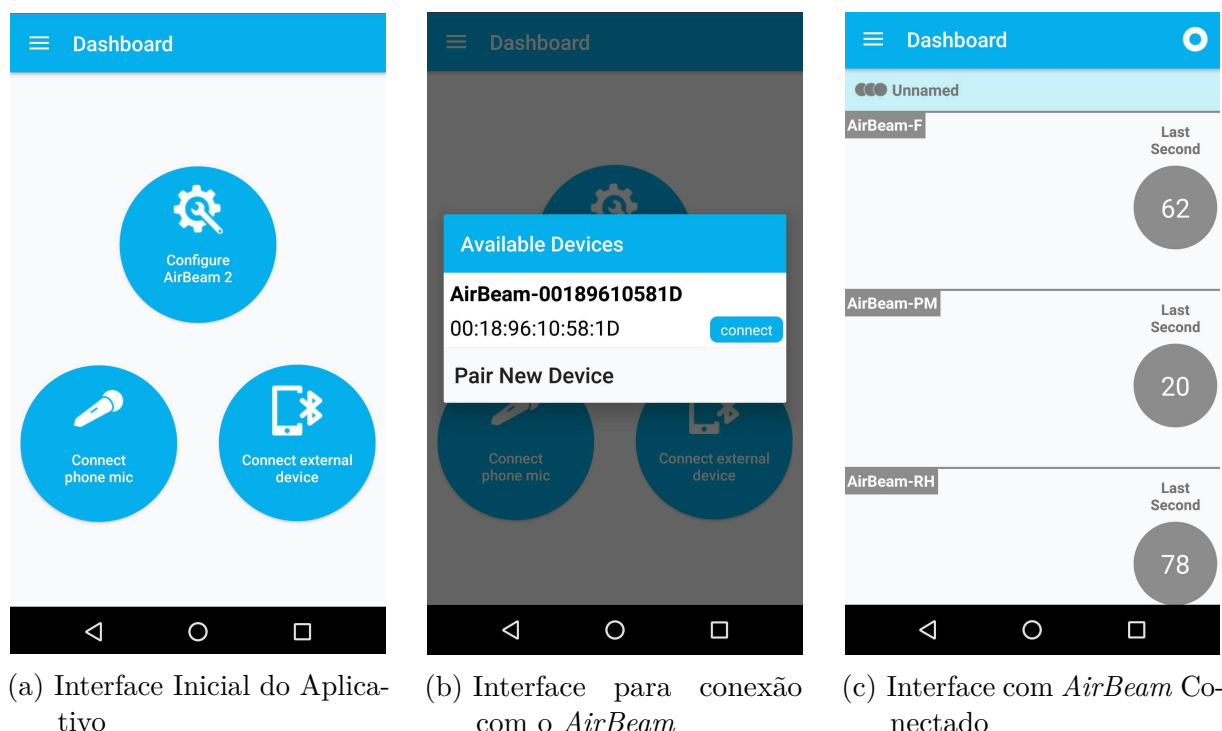
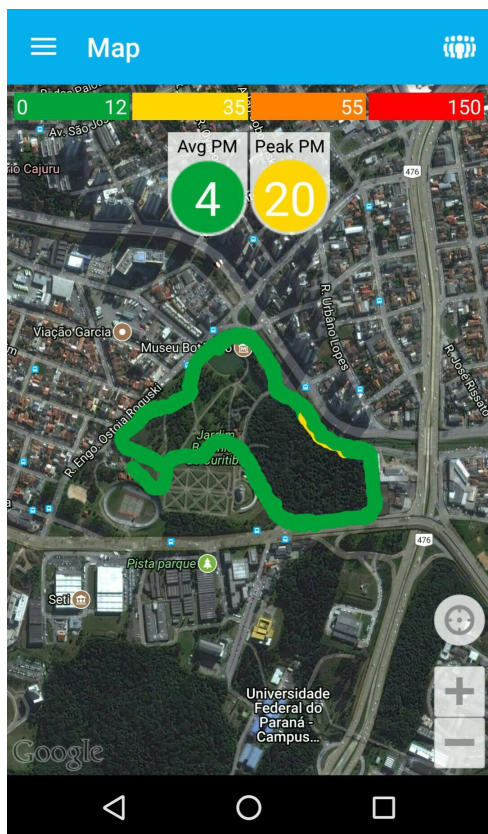


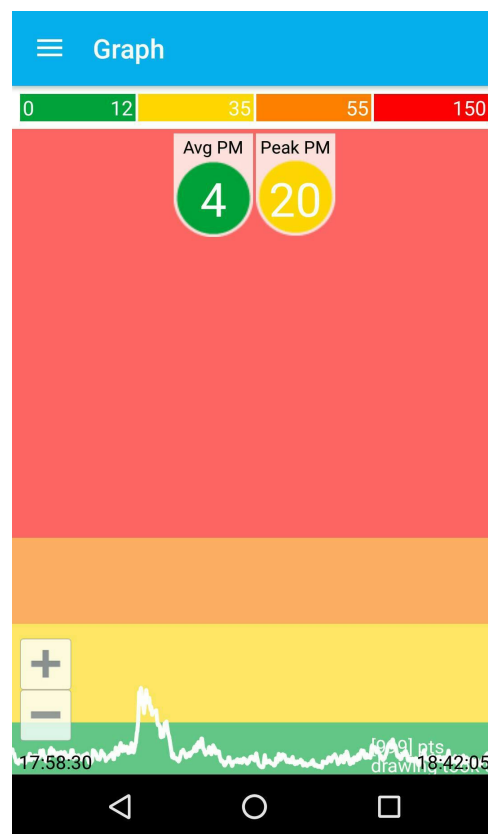
Figura 12 – Interfaces do Aplicativo *AirCasting*

A Figura 12a indica a interface inicial do aplicativo. Quando quer estabelecer a conexão entre o *AirBeam* e o aparelho celular, deve-se selecionar a opção "*Conect External Device*", e o equipamento escolhido, conforme Figura 12b. Após a conexão, é possível ver a medição instantânea da temperatura, umidade relativa e material particulado no ambiente.

Durante a medição, o aplicativo gera automaticamente pontos no mapa com a cor, na qual a concentração se enquadra, como exemplificado na Figura 13a, além de gráficos, nos quais é possível visualizar a distribuição dos dados dentro das faixas definidas de concentração, demonstrado na Figura 13b.



(a) Mapas Gerados Automaticamente em uma Sessão no Jardim Botânico



(b) Gráficos Gerados Automaticamente em uma Sessão no Jardim Botânico

Figura 13 – Interfaces do Aplicativo *AirCasting* durante Medição no Jardim Botânico

Após a finalização da sessão, os dados ficam salvos no *Smartphone* e podem ser enviados via e-mail. Os dados são armazenados em planilha no formato CSV, nos quais se atribui um valor de concentração, umidade e temperatura a cada localização encontrada pelo GPS do aparelho celular.

3.2.1 Dados de Performance

A fim de verificar a performance do equipamento, o fabricante realizou comparações entre o *Airbeam*, *Thermo Scientific* pDR-1500 e amostras de filtro de teflon sujeitas à análise gravimétrica. O pDR-1500 é um monitor de qualidade do ar frequentemente utilizado por entidades governamentais e pesquisadores para avaliar exposição pessoal ao material particulado fino. As amostras dos filtros de teflon foram tomadas com uma bomba *Leland Legacy* de 10L e ciclone de $MP_{2,5}$ e pesadas na sala de pesagem da *NYU School of Medicine* (Universidade Escola de Medicina de Nova York), a qual atende os parâmetros da EPA quanto ao armazenamento, condicionamento e medição gravimétrica de filtros de $MP_{2,5}$ e MP_{10} ([HABITATMAP, 2014](#)).

Foram coletadas, pelos representantes do equipamento, amostras de ar na cidade de Manhattan-EUA em 11 ocasiões diferentes e calculadas as médias de concentrações

em 12 horas, com valores de concentração já sabidos que eram menores que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e também foram coletadas amostras enquanto se queimava papelão em um ambiente interno, nesse caso, as amostras foram coletadas dentro de um período de uma hora e feitas médias a cada minuto (HABITATMAP, 2014).

Para verificar correlação foram calculados R^2 entre as medidas do *Airbeam* com o pDR-1500 e de ambos com filtros gravimétricos. Nos resultados observou-se, que para o ar medido em ambiente externo, o R^2 entre o *Airbeam* e o pDR-1500 foi de 0,98, conforme Figura 14 o que demonstra alta correlação. Quanto às leituras feitas com papelão queimando em ambiente externo, o R^2 mínimo foi de 0,96, conforme Figura 15. Porém notou-se que a variabilidade passou a aumentar conforme aumentavam-se as concentrações e então foi calculado R^2 para valores acima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nessa situação, foi utilizada uma regressão não linear para correlacionar os dados, de forma a obter o valor de 0,78 para R^2 , apresentado na Figura 16, a diferença na correlação, deve-se a proximidade do valor limite de medição do equipamento, estimado em $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

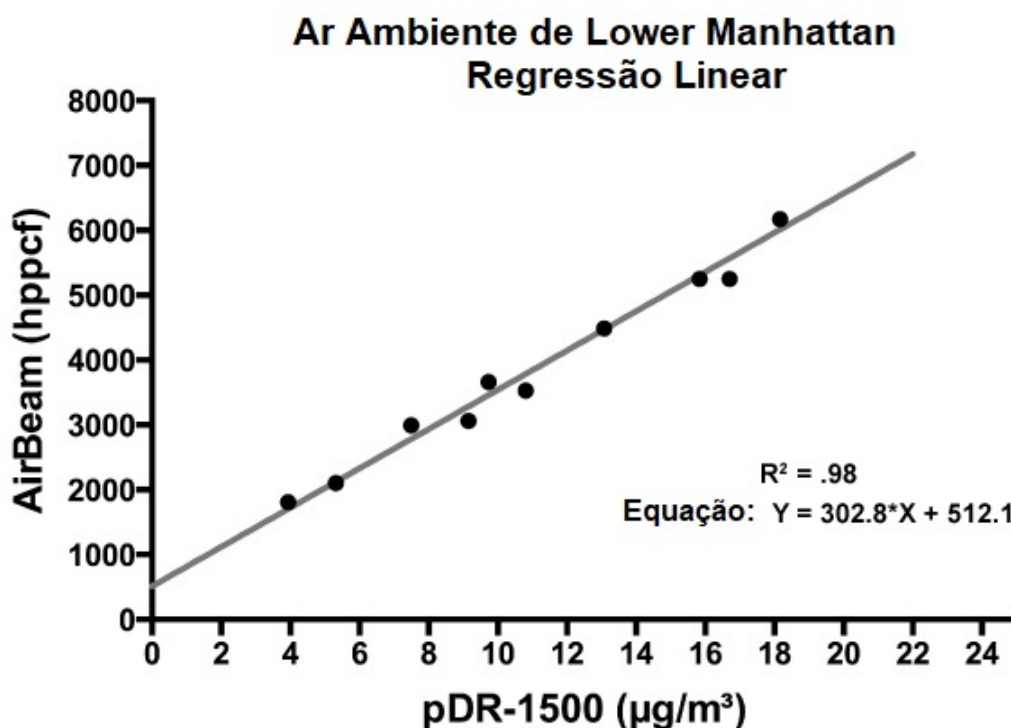


Figura 14 – Correlação Entre Medidas do *Airbeam* e do pDR-1500 em Ambiente Externo.
FONTE: Adaptado de HabitatMap (2014)

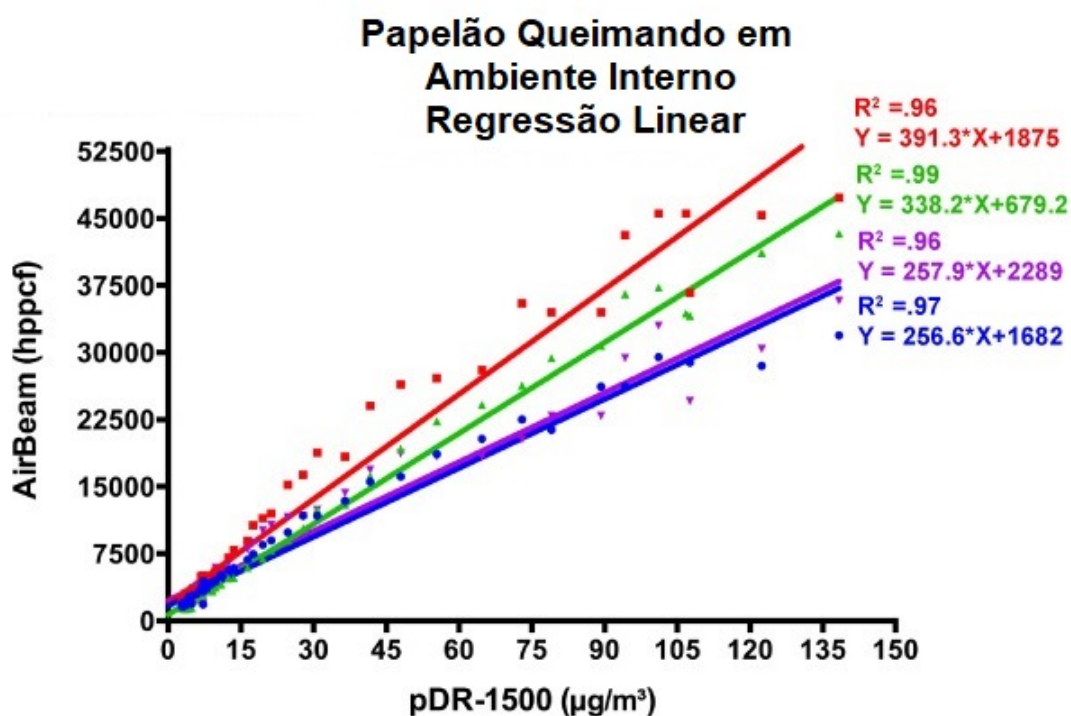


Figura 15 – Correlação Entre Medidas do *Airbeam* e do pDR-1500 para Emissões de Fumaça de Papelão Queimado. FONTE: Adaptado de [HabitatMap \(2014\)](#)

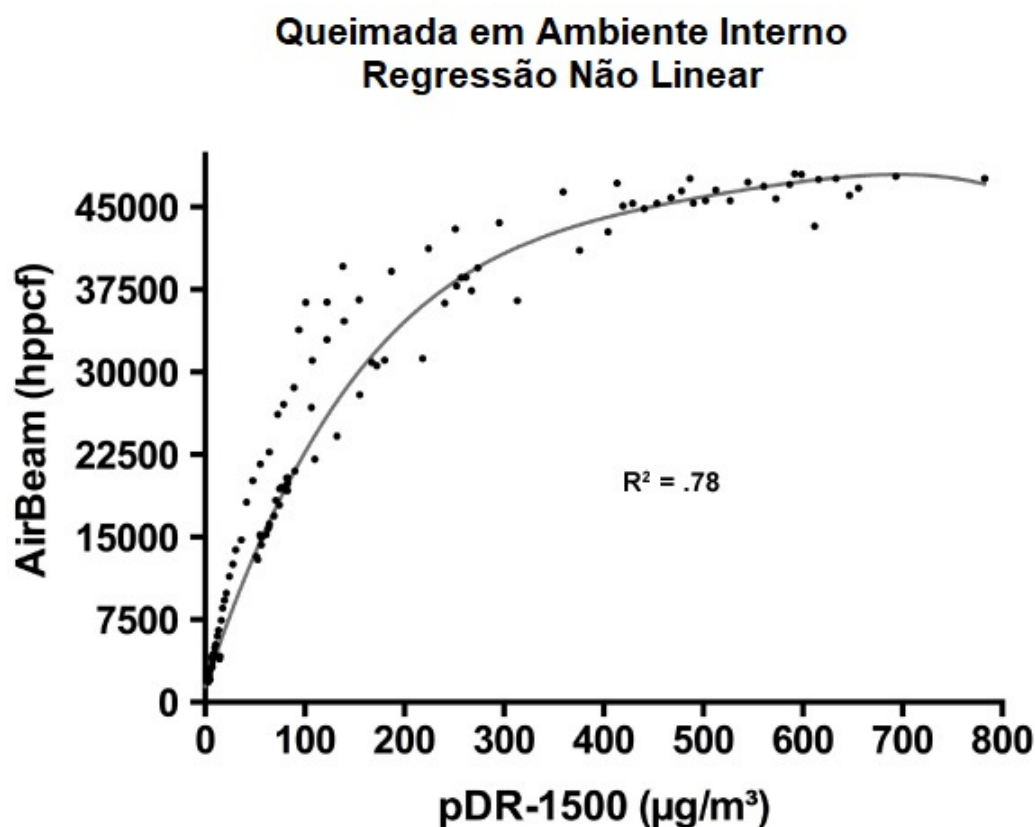


Figura 16 – Correlação Entre Medidas do *Airbeam* e do pDR-1500 para Concentrações Acima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. FONTE: Adaptado de [HabitatMap \(2014\)](#)

Para se verificar correlação com as concentrações obtidos pelo método gravimétrico, utilizaram-se dois *Airbeam* e o pDR-1500 para comparação, de modo que as correlações entre os *Airbeam* e as medidas realizadas pelo método gravimétrico foram de 0,70 e entre o pDR-1500 e o método tradicional foi de 0,76, como é possível observar na Figura 17. Nesse caso a correlação entre o *Airbeam* e pDR-1500 foi de 0,98, de modo que o fabricante destaca a variabilidade da medida conforme a refletividade das partículas, visto que os dois sensores são baseados no espalhamento da luz.

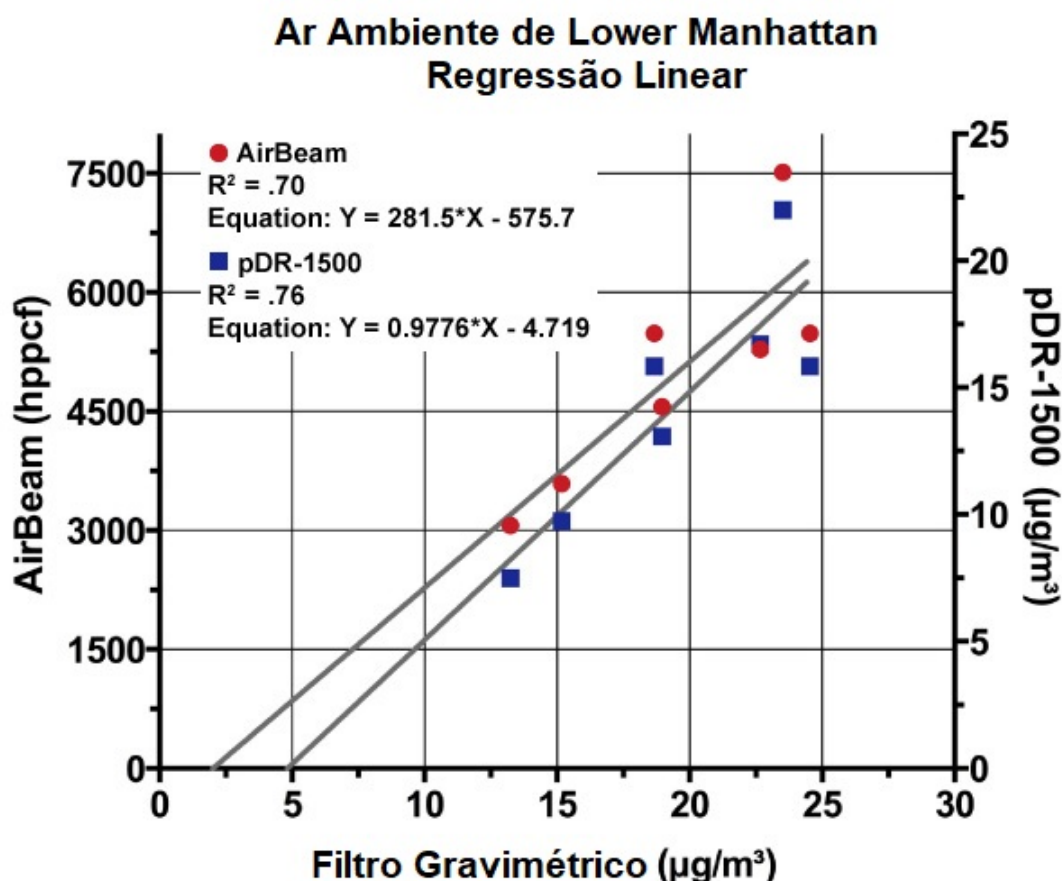


Figura 17 – Correlação Entre Medidas do *Airbeam*, do pDR-1500 e do Método Gravimétrico em Ambiente Externo. FONTE: Adaptado de [HabitatMap \(2014\)](#)

Devido a ascensão dos sensores de baixo custo baseados no espalhamento da luz, [Jiao et al. \(2016\)](#), representantes da EPA, executaram o projeto *CAIRSENSE* que avaliou o desempenho de diversos sensores de medição de poluição atmosférica em ambientes externos em diversas condições meteorológicas, tendo em vista a ascensão de equipamentos de baixo custo, baseados no espalhamento da luz. A avaliação aconteceu na forma de cálculo da correlação entre os resultados dos sensores e do monitor escolhido como referência *MetOne BAM 1020 FEM PM_{2,5}*, que é baseado em radiação beta. Dentre eles, o *AirBeam* apresentou correlação de $r=0.65-0.66$. Apesar da correlação não ser efetivamente alta, ela existe e conforme concluído no estudo, pode ser encontrada se as comparações forem realizadas em ambientes similares.

3.3 MÉTODO DE MEDIÇÃO

Ao simular uma caminhada ou corrida no local analisado, o equipamento foi afixado na frente do corpo, conforme mostrado na Figura 18, a fim de representar a altura de respiração e consequentemente, a entrada dos poluentes no sistema respiratório durante a realização de atividades físicas, pois nessas circunstâncias, as pessoas aumentam a inalação de material particulado (EPA, 2016). O equipamento realiza medições a cada segundo e gera um valor de concentração para cada coordenada no instante analisado.



Figura 18 – Foto de Medição Realizada na Praça Ouvidor Pardinho. FONTE: Autor(2018)

Foram determinadas três categorias para os períodos de análise:

- Período 01: Durante os dias da semana, entre 06:30 e 11:00, para determinar a exposição em momentos matinais, cujas condições meteorológicas são diferentes e ainda assim, é caracterizado pela movimentação de veículos;
- Período 02: Durante os dias da semana, entre às 17:00 e 19:00, a fim de demonstrar o panorama com maior fluxo de veículos;
- Período 03: Nos finais de semana, a fim de observar as concentrações em períodos com menor fluxo de veículos.

Foram definidas duas formas de análise das concentrações de $MP_{2,5}$:

- A primeira consiste em determinar a distribuição de MP no espaço;

- A segunda consiste em gerar histogramas a fim de determinar o tempo que uma pessoa realizando exercícios se expõe a determinada concentração.

3.3.1 Análise Espacial

A partir dos dados exportados pelo aplicativo, foram gerados mapas de distribuição das concentrações no *Software* livre QGIS[®], versão 2.18. Os dados estão dispostos com o objetivo de identificar *hot-spots* de concentrações provenientes das principais fontes observadas no estudo.

É importante destacar que o GPS dos aparelhos celulares possui acurácia média de 4,9 m sob céu aberto e dessa forma, alguns pontos do mapa podem se encontrar deslocados em relação ao ponto real medido, pois prédios e árvores podem influenciar na acurácia (GPS.GOV, 2017).

A partir dessa análise, foi possível destacar os pontos de maior concentração de MP nos locais escolhidos e visualizar qual é essa concentração nos períodos de atividades físicas.

As cores para representação dos pontos no mapa foram definidas conforme Figura 19, análogas às cores usadas no aplicativo *AirCasting*. Pois essas faixas representam as categorias definidas pela EPA (2013) e indicadas na Tabela 7:

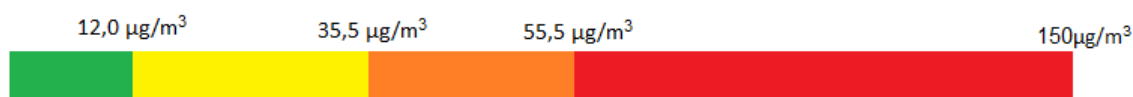


Figura 19 – Faixas de cores representativas das concentrações. FONTE: Autor(2018)

Tabela 7 – Faixas de Concentração, Índices de Qualidade do Ar e Classificações

Concentração de MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Índice de Qualidade	Classificação
0,0-12,0	0-50	Boa
12,1-35,5	51-100	Regular
35,5-55,5	101-150	Inadequada para grupos sensíveis
55,5-150,5	201-300	Inadequada para a saúde

Fonte: Adaptado de EPA (2013)

3.3.2 Análise Temporal

A curva da função de distribuição acumulada é uma representação gráfica da distribuição dos dados obtidos, de forma que é possível observar a fração ou porcentagem de tempo em que cada valor se encontra acima de determinado valor da variável observada.

A curva varia, no eixo y, de 0 a 1, pois representam as frações e em x, estão os valores da variável observado, que nesse caso são as concentrações. (FARIAS,).

Com o objetivo de verificar o tempo em que as pessoas estão expostas às maiores concentrações, foram geradas curvas de distribuição acumulada, a partir das concentrações medidas e o *Software* utilizado para geração de tais gráficos estatísticos foi o *SciDavis*®, no qual são elaborados gráficos de acordo com a entrada de dados exportados do aplicativo do equipamento.

Dessa forma, pôde-se analisar, além da porcentagem de valores acima das legislações ou recomendações cabíveis, o tempo em que essa exposição ocorreu a variabilidade temporal dos dados ao longo de cada sessão.

Para ilustrar o enquadramento das concentrações, no fundo dos gráficos que contém as curvas, foram incluídas as cores, conforme Figura 19.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Com o objetivo de observar os dados das medições analiticamente, foram utilizados algumas análises e conceitos estatísticos aplicáveis.

3.4.1 Coeficiente de Variação

O coeficiente de variação é uma medida de dispersão, cuja vantagem em se utilizar é a possibilidade de se comparar as dispersões com ordens de grandeza diferentes, ou seja, pode-se observar em termos relativos (NETO, 2002).

O coeficiente de variação é obtido a partir da divisão do desvio padrão amostral pela média e está demonstrado na equação 3.1, de modo que S é desvio padrão e $\bar{X}$ é a média (NETO, 2002).

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (3.1)$$

3.4.2 Relação com Parâmetros Meteorológicos

Para verificar a relação entre as diferenças de concentrações dos locais analisados em dias diferentes e mesmos períodos, as médias de concentrações de cada sessão foram relacionados diretamente com os parâmetros: temperatura, umidade relativa e intensidade do vento nos dias em que houve medição, enquanto os valores de precipitação utilizados foram acumulados um e cinco dias anteriores às datas de medições. Para os parâmetros de temperatura, umidade relativa e intensidade do vento, foi calculada a média no menor intervalo que continha o período de medição.

Após a análise de correlação direta, foi realizada a regressão linear múltipla com as variáveis logaritmicamente padronizadas, pois, conforme observado por [Elsom e Chandler \(1978\)](#), o comportamento dos poluentes atmosféricos em relação aos parâmetros meteorológicos é logarítmico, como observado na Equação 3.2, proposta por eles.

$$\ln C = \ln k + \sum_i (\alpha_i) \ln P_i + \epsilon \quad (3.2)$$

Onde, C é a concentração média, P_i é o parâmetro meteorológico, α_i é o coeficiente de regressão associado ao parâmetro i , k é o ponto de interceptação ϵ é o erro associado ([ELSOM; CHANDLER, 1978](#)). Para tal análise, o *software Microsoft Excel*[®] serviu de suporte.

Foi utilizado o teste de significância F , que emprega a análise de variância para rejeitar ou não uma hipótese nula, que nesse caso era a não existência da regressão ([NETO, 2002](#)). O nível de significância utilizado nesse estudo foi de 5%, ou seja, o teste F deve resultar em um valor menor que 0,05 para rejeitarmos a hipótese de que não existe regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas 21 medições entre os meses de março e outubro do ano de 2018. No Parque Jardim Botânico, três foram no Período 01 (manhã), três no Período 02 (tarde) e uma no Período 03 (finais de semana), já nas Praças Oswaldo Cruz e Ouvidor Pardiniho, foram duas nos Período 01 e 03 e três no Período 02.

4.1 DADOS DAS SESSÕES REALIZADAS

Os dados de médias, máximos, mínimos, assim como coeficientes de variação das medições, estão dispostos na Tabela 8 de forma que representam as informações das concentrações medidas nas Praças Ouvidor Pardiniho e Oswaldo Cruz e no Parque Jardim Botânico.

Tabela 8 – Dados das Sessões de Medição Realizadas

Local	Data	Dia da Semana	Período	Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Coefficiente de Variação
Ouvidor Pardiniho	17/03/2018	Sábado	09:25 - 10:02	7,37	14,39	3,4	0,40
	25/04/2018	Quarta	18:16 - 18:40	14,26	22,33	9,48	0,14
	24/07/2018	Terça	18:21 - 18:35	7,63	13,34	4,20	0,21
	25/09/2018	Terça	17:43 - 18:12	17,86	28,82	12,30	0,16
	30/09/2018	Domingo	12:11 - 12:33	10,86	16,81	6,73	0,16
	05/10/2018	Sexta	07:09 - 07:39	3,26	12,45	1,43	0,46
	22/10/2018	Segunda	07:14 - 07:38	6,80	12,82	3,19	0,22
Jardim Botânico	12/03/2018	Segunda	10:26 - 10:47	6,29	11,86	3,47	0,21
	25/05/2018	Sexta	17:58 - 18:42	4,64	20,20	1,48	0,62
	25/07/2018	Quarta	17:44 - 18:23	24,24	36,77	16,39	0,17
	10/08/2018	Sexta	11:12 - 11:50	3,30	14,56	1,38	0,39
	10/08/2018	Sexta	17:39 - 18:23	5,55	13,27	2,12	0,32
	10/10/2018	Quarta	07:08 - 07:55	15,00	20,71	8,95	0,13
	21/10/2018	Domingo	11:48 - 12:29	4,18	9,78	1,48	0,33
Oswaldo Cruz	18/07/2018	Quarta	18:04 - 18:26	21,20	41,58	16,31	0,12
	21/08/2018	Terça	18:11 - 18:45	11,99	25,74	4,88	0,24
	19/09/2018	Quarta	18:02 - 18:27	23,05	47,36	16,56	0,18
	23/09/2018	Domingo	12:16 - 12:40	7,15	27,66	3,26	0,46
	01/10/2018	Segunda	07:11 - 07:41	15,75	24,58	10,75	0,14
	18/10/2018	Quinta	07:06 - 07:36	10,79	20,51	5,88	0,23
	20/10/2018	Sábado	14:39 - 15:12	9,03	14,79	5,26	0,17

Valor Máximo Recomendado pela OMS para Média de 24 Horas: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4.2 VARIAÇÕES TEMPORAIS

As variações temporais foram observadas a partir das curvas de distribuição acumulada para cada sessão em cada local analisado.

4.2.1 Praça Ouvidor Pardiniho

As curvas de distribuição acumulada das sessões realizadas na Praça Ouvidor Pardiniho estão apresentadas na Figura 20. As curvas obtidas a partir dos dados da Praça Ouvidor Pardiniho apresentaram diferenças significativas entre si, de forma que quase não houveram valores coincidentes. É possível notar, a partir das variações que podem existir períodos em que a concentração supera a recomendação da OMS, ainda que curtos. O dia de medição em que os valores foram acima da recomendação, ainda apresentou coeficiente de variação (Tabela 8) considerado médio, estatisticamente, ou seja, mesmo nessa classe do coeficiente, pôde-se observar superação da recomendação da OMS. Os coeficientes de variação das sessões de 17 de março e 05 de outubro estão classificados como muito altos, de forma que é possível observar nas curvas, a primeira demonstra essa variação de forma mais uniforme, enquanto a segunda segue sem variação significativa dentro dos primeiros 80% e após essa faixa, os valores passaram a variar mais. Nesse caso, a curva média geral seguiu comportamento praticamente uniforme ao longo das concentrações, demonstrando forte distribuição e variação geral de valores medidos.

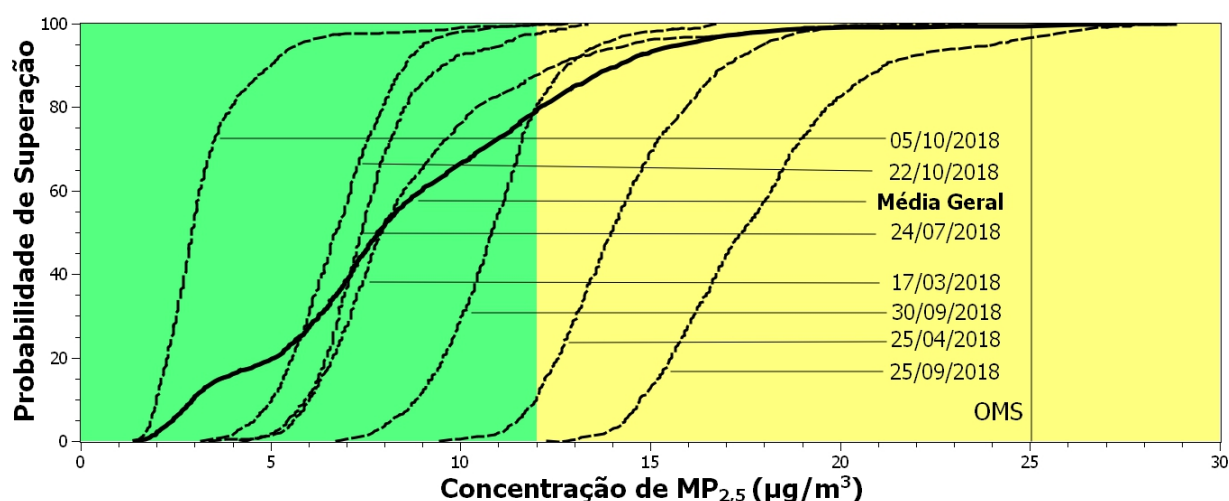


Figura 20 – Gráficos das curvas de distribuição acumulada na praça Ouvidor Pardiniho.

Em relação às classes da EPA, a Figura 20 apresenta concentração de valores na classe "Boa" e uma parcela na "Regular", mas se observados em termos individuais, dois dias (25 de abril e 25 de setembro) têm suas concentrações enquadradas quase que totalmente como "Regulares".

4.2.2 Parque Jardim Botânico

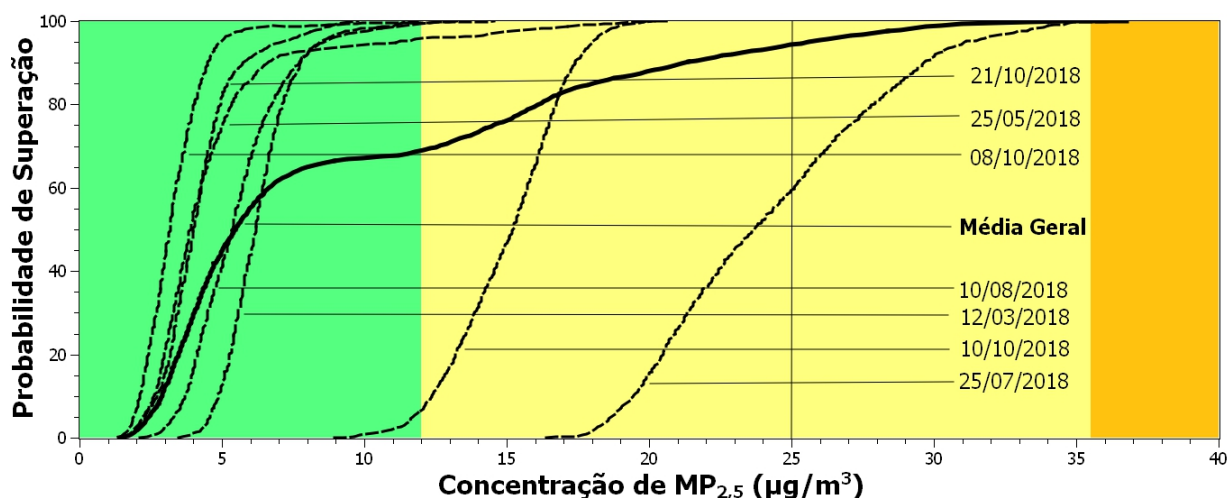


Figura 21 – Gráficos das curvas de distribuição acumulada no Parque Jardim Botânico.

A proximidade entre as primeiras curvas da Figura 21 demonstra como os valores se mantiveram parecidos entre as medições, exceto pelos dias 10 de outubro e 25 de julho. A alta inclinação das primeiras retas do gráfico nos mostram a baixa variabilidade nas sessões realizadas no parque, novamente, excluídas as medições dos 25/07 e 10/10, que apresentaram alta variabilidade uniforme e maiores médias. Em termos dos coeficientes de variação, as sessões dos dias 25 de maio e 10 de agosto tiveram os maiores valores, como é possível na Figura 21, que em 25/05, até a concentração de aproximadamente $6,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a curva se manteve uniforme, e para os valores superiores, foram mais distribuídos.

A curva média geral mostra que seguia-se uma tendência de valores baixos de concentrações, mas as duas maiores médias, respectivas aos dias 25 de julho e 10 de outubro, influenciaram a curva que destaca um ponto onde essas concentrações passaram a subir.

Pela Figura 21, é evidente o acúmulo de valores na faixa verde, caracterizada como "Boa" pela EPA, o que pode ser explicado pela presença de árvores e arbustos espalhados pelo parque, além de um bosque, que é capaz de reter de 2 a 35% de partículas totais em suspensão, conforme Vellingiri et al. (2015) observaram em Shanghai.

4.2.3 Praça Oswaldo Cruz

As sete medições realizadas na Praça Oswaldo Cruz têm suas respectivas curvas de distribuição acumulada encontradas na Figura 22. A partir dos valores medidos na Praça Oswaldo Cruz, foram obtidas curvas caracterizadas pela variação entre as médias de cada dia em que foi medido, exceto pelos pares de dias 18/07 e 19/09, os quais demonstraram alta proximidade, perceptível pelas curvas. Assim como na Praça Ouvidor Pardini, é notável que a variação passa a ser mais acentuada a partir das concentrações mais altas,

tendência evidenciada na curva de média geral que seguia quase uniformemente, até o valor próximo de $19,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quando passou a se estender de forma mais drástica.

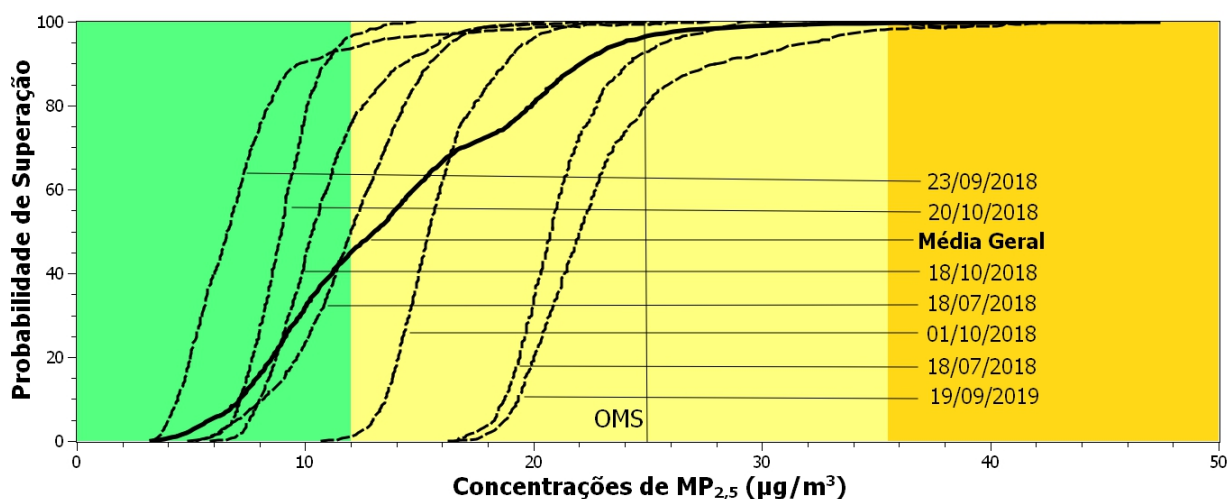


Figura 22 – Gráficos das curvas de distribuição acumulada na praça Oswaldo Cruz.

A partir da Figura 22, é possível observar que as concentrações medidas estão distribuídas entre as classes "Boa" e "Regular", de forma que apenas uma pequena parcela encontra-se na classe "Inadequada para Grupos Sensíveis". Assim como nas medições da Praça Ouvidor Pardinho, as médias foram decrescentes de acordo com períodos de maior concentração de veículos até menor, conforme observado na Tabela 8. A Praça Oswaldo Cruz foi o local, dentre os espaços objetos desse estudo, que apresentou maior movimentação de veículos em 2012, ainda que nos relatórios do IPPUC não contemple todos os cruzamentos do Parque Jardim Botânico IPPUC (2012).

4.3 ENQUADRAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DE ACORDO COM OS VALORES DE REFERÊNCIA

A fim de se observar o panorama das sessões realizadas quanto às recomendações e legislações disponíveis para $\text{MP}_{2,5}$, foi gerada a Tabela 9.

Tabela 9 – Porcentagem (%) de Valores que Excederam Recomendações ou Legislações para Médias de 24 Horas na Praça Ouvidor Pardinho

Local	Data da Sessão	WHO (2005a), PF - Novo CONAMA e Decreto 59.113 de SP	EPA (2013), EU (2008)	PI-1 Novo CONAMA e Decreto 59.113 de SP
Ouvidor Pardinho	7/03/2018	0,00	0,00	0,00
	25/04/2018	0,00	0,00	0,00
	24/07/2018	0,00	0,00	0,00
	25/09/2018	3,42	0,00	0,00
	30/09/2018	0,00	0,00	0,00
	05/10/2018	0,00	0,00	0,00
	22/10/2018	0,00	0,00	0,00
Jardim Botânico	12/03/2018	0,00	0,00	0,00
	25/05/2018	0,00	0,00	0,00
	25/07/2018	40,28	8,56	0,00
	10/08/2018(1)	0,00	0,00	0,00
	10/08/2018(2)	0,00	0,00	0,00
	10/10/2018	0,00	0,00	0,00
	21/10/2018	0,00	0,00	0,00
Oswaldo Cruz	18/07/2018	7,04	0,60	0,00
	21/08/2018	0,05	0,00	0,00
	19/09/2018	19,19	7,71	0,00
	23/09/2018	0,57	0,00	0,00
	01/10/2018	0,00	0,00	0,00
	18/10/2018	0,00	0,00	0,00
	20/10/2018	0,00	0,00	0,00

Fonte: WHO (2005a), CONAMA (2018), ALESP (2013), EPA (2013), EU (2008)

De acordo com a Tabela 9, na praça Ouvidor Pardinho, apenas no dia 25 de setembro houveram concentrações acima dos limites utilizados para comparação. Nesse caso, o limite ultrapassado foi o valor da recomendação da OMS, em 3,42% do tempo de medição e portanto, o restante dessa e de todas as medições estão abaixo da recomendação dessa diretriz.

Quanto ao Jardim Botânico, demonstra-se que de todas as medições realizadas, apenas no dia 25 de julho, cuja medição foi realizada no Período 02, foram medidos valores acima de algum padrão utilizado para comparação e os ultrapassados foram a recomendação da OMS, em 40,28% do tempo e o padrão da (EPA, 2013), em 8,56%, ou seja, de toda a sessão realizada neste dia, em 50,72% do tempo, apresentaram-se concentrações abaixo da recomendação da OMS, porém no restante, houve ultrapassagem. A partir desta constatação, é possível notar que apesar da média ter sido $24,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a parcela de valores acima da recomendação e o máximo de $36,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ demonstram que as variações temporais em pequenos períodos de tempo existem e podem ser representativas

para determinar se a qualidade do ar de determinado local é prejudicial ou não à saúde e conseqüentemente, se o enquadramento nos padrões de legislações e recomendações representam o real impacto às pessoas que utilizam esses locais.

Nenhuma média encontrada nas sessões da Praça Oswaldo Cruz se enquadram acima das legislações ou da recomendação da OMS, assim como nos outros dois locais de análise, porém foi na Oswaldo Cruz que foram encontradas as maiores concentrações, como é possível notar a partir da Tabela 8. Dessa forma, conforme Tabela 9, em quatro das sete medições, foram medidos valores acima dos padrões comparados e elas são referentes aos dias 18 de julho, 21 de agosto, 19 de setembro e 23 de setembro, as três primeiras foram realizadas no Período 01 e a restante, no Período 03. Apesar das sessões dos dias 21/08 e 23/09 ultrapassarem a recomendação da OMS em alguns momentos, foram em porcentagens muito pequenas, diferente dos dias 18/07 e 19/09 que ultrapassaram em 7,04% e 19,19%, respectivamente e ainda superaram os padrões da (EPA, 2013) em 0,60% e 7,71%.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM EPA

Com o objetivo de visualizar a classificação dos locais de acordo com a EPA (2013), apresenta-se a Tabela 10. Na qual, é possível perceber que quase não foram medidas concentrações enquadradas como inadequadas para grupos sensíveis, os quais são considerados pessoas com problemas respiratórios, crianças, idosos ou praticantes de atividades físicas ao ar livre. (WHO, 2005a). Porém, houveram dois dias, 25 de abril e 25 de setembro, que as medições se concentraram na faixa Regular, de modo que as máximas respectivas foram $22,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $28,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir disso, pode-se afirmar que, diante das classes propostas pela (EPA, 2013), as medições realizadas na Praça Ouvidor Pardiniho não representaram em nenhum momento riscos à praticantes de exercícios físicos no local, assim como para idosos e crianças que frequentam para utilizar a academia ao ar livre e as quadras de esportes.

Tabela 10 – Enquadramento dos Valores Medidos de Acordo com as Sessões na Praça Ouvidor Pardinho em Porcentagem

Local	Data da Sessão	Boa (0-12,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Regular (12,0 - 35,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Inadequada para Grupos Sensíveis (35,5 - 55,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ouvidor Pardinho	17/03/2018	87,73	12,27	0,00
	25/04/2018	11,09	88,91	0,00
	24/07/2018	97,65	2,35	0,00
	25/09/2018	0,00	100,00	0,00
	30/09/2018	80,75	19,25	0,00
	05/10/2018	99,67	0,33	0,00
	22/10/2018	99,75	0,25	0,00
Jardim Botânico	12/03/2018	100,00	0,00	0,00
	25/05/2018	95,93	4,07	0,00
	25/07/2018	0,00	99,74	0,26
	10/08/2018(1)	99,64	0,36	0,00
	10/08/2018(2)	99,33	0,67	0,00
	10/10/2018	6,87	93,13	0,00
	21/10/2018	100,00	0,00	0,00
Oswaldo Cruz	18/07/2018	0,00	99,63	0,37
	21/08/2018	50,63	49,36	0,00
	19/09/2018	0,00	97,95	2,05
	23/09/2018	93,76	6,24	0,00
	01/10/2018	1,12	98,88	0,00
	18/10/2018	75,89	24,11	0,00
	21/10/2018	96,55	3,45	0,00

Em relação às classes definidas pela (EPA, 2013), as concentrações se mantiveram, em sua maioria, na classe "Boa", com exceção dos dias 25 de julho e 10 de outubro, que tiveram 93,13% e 99,74% das concentrações medidas enquadradas na classe "Regular". Ainda na sessão do dia 25/07, 0,26% das medições foram classificadas como "Inadequada para Grupos Sensíveis", o que representa apenas seis segundos.

Diferente dos outros locais, na Owsaldo Cruz, a maioria das concentrações medidas se encontraram na classe "Regular", de forma que nos dias 18 de julho, 19 de setembro e 01 de outubro, mais de 95% estavam nessa classe. O dia 21 de agosto foi o que houve maior distribuição dos valores, com aproximadamente 50% na classe "Boa" e 50% na classe "Regular". Conforme relatório do (IPPUC, 2012), a Praça Oswaldo Cruz foi o local com maior movimento de automóveis dos três locais de análise no ano de 2012, o que pode ser explicado pela alta atividades comercial da região, o que atrai muitas pessoas e pela sua localização na região central da cidade de Curitiba. Esses fatos podem explicar a diferença dos enquadramentos em relação às concentrações na Ouvidor Pardinho e no Jardim Botânico.

A partir dessa análise, é possível observar que, com exceção dos dias 25 de setembro na Praça Ouvidor Pardiniho e 21 de outubro no Jardim Botânico, as sessões apresentaram concentrações em mais de uma classe conforme EPA (2013) e isso demonstra a dificuldade de classificar qualitativamente o ar de um ambiente com uma média diária. Pois mesmo com médias baixas, os coeficientes de variação presentes na Tabela 8 nos mostram que dentro dos pequenos períodos de medição, existem variações significativas de concentrações no tempo. Esse fato se torna mais evidente nas sessões da Praça Oswaldo Cruz.

4.5 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

A partir dos dados meteorológicos de temperatura, umidade relativa, intensidade do vento e precipitação, procurou-se observar a relação entre essas variáveis e as concentrações médias encontradas.

Os gráficos que relacionam as concentrações médias das sessões com os parâmetros meteorológicos podem ser observados nas Figuras 23, 24, 26, 25 e 27.

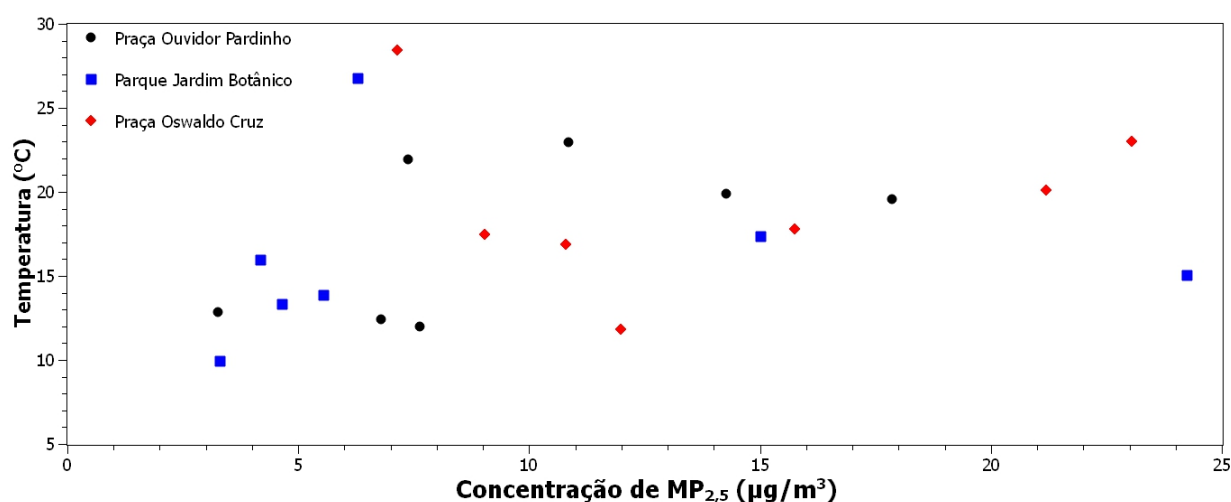


Figura 23 – Temperatura Média x Concentrações Médias.

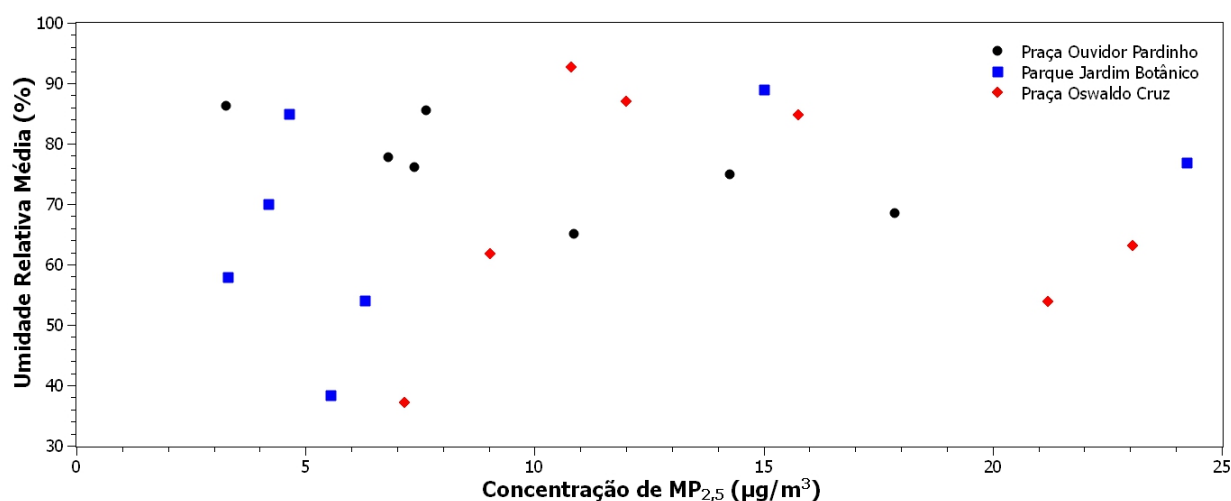


Figura 24 – Umidade Relativa Média x Concentrações Médias.

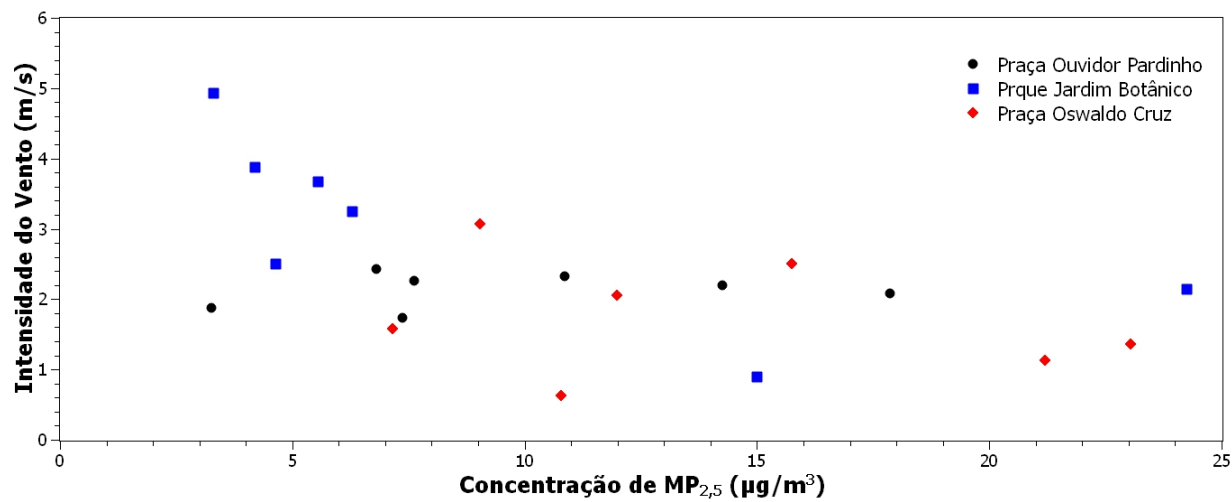


Figura 25 – Intensidade do Vento Média x Concentrações Médias.

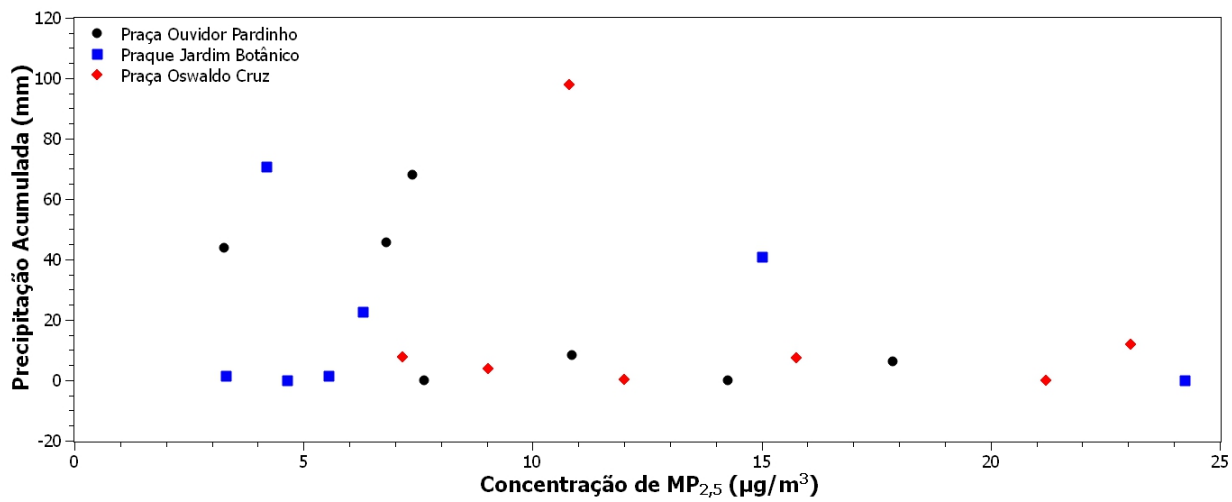


Figura 26 – Precipitação Acumulada em 05 Dias Anteriores à Medição x Concentrações Médias.

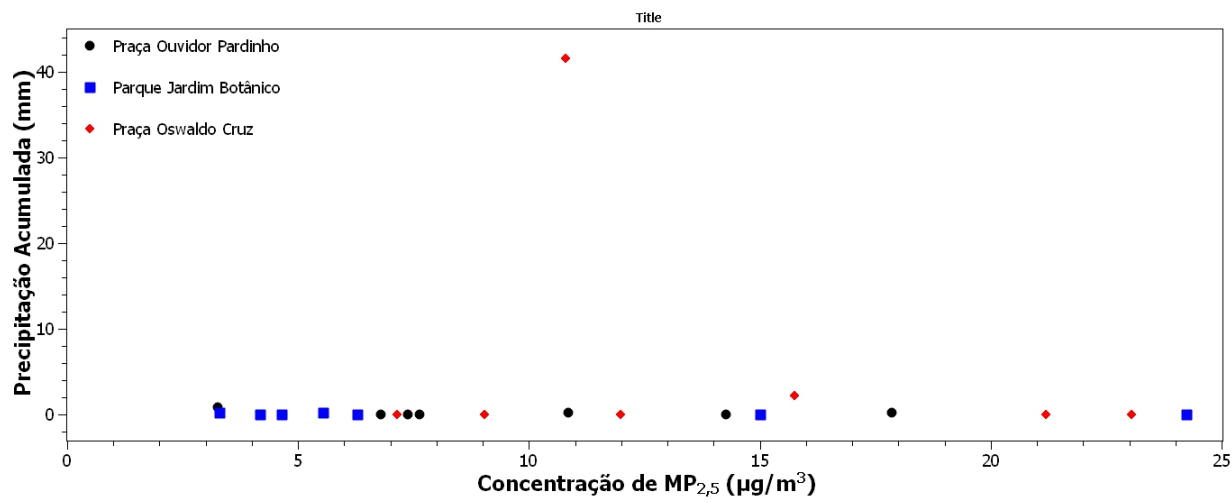


Figura 27 – Precipitação Acumulada no Dia Anterior à Medição x Concentrações Médias.

É evidente, a partir das Figuras 23 a 27, que não houve correlação direta entre as concentrações médias e as variáveis meteorológicas dos respectivos dias. Dessa forma, foi realizada análise dos coeficientes obtidos pela regressão linear múltipla dos parâmetros meteorológicos logaritmicamente transformados com as concentrações médias também transformadas. Essa análise foi utilizada a fim de observar o quanto essas variáveis podem influenciar as concentrações de MP e ainda, verificar possíveis semelhanças (Tabela 11) com o trabalhos de [Hien et al. \(2002\)](#), que utilizou do método para analisar as relações das concentrações de MP_{2,5} com parâmetros meteorológicos em Hanoi, no Vietnã; [Tai, Mickley e Jacob \(2010\)](#), que observou a distribuição espacial desses parâmetros ao longo dos Estados Unidos da América durante um período de 11 anos, de forma que foram observadas faixas para os parâmetros, pois demonstraram variação dependente da região do país, essas faixas foram estimadas conforme mapas apresentados no artigo; [Moura et al. \(2015\)](#) aplicaram o modelo de regressão linear múltipla para avaliar os coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas e as concentrações de MP₁₀ na cidade de Belo Horizonte.

Após primeira análise da regressão múltipla, o parâmetro de umidade relativa do ar apresentou p-valor acima de 0,05 (1,23) para um intervalo de confiança de 95%, de forma que para a continuidade, não foi mais contemplado nos cálculos. Entre as precipitações acumuladas observadas, a que apresentou melhor comportamento no modelo, foi de cinco dias anteriores à medição.

Tabela 11 – Coeficientes Obtidos pela Regressão Linear Múltipla e Comparação com Valores Encontrados no Vietnã e EUA

Parâmetro	Autor (2018)	Hanoi (Outubro de 1998 - Março de 1999)	Hanoi (Maio de 1999 - Julho de 1999)	EUA (1998 - 2008)	Belo Horizonte (2015)
Temperatura Média	0,83	-0,45	-0,26	0,0 - 1,0	0,044
Umidade Relativa Média	Não utilizado	Não Calculado	-0,42	-0,15 - 0,15	-0,002
Intensidade do Vento	-0,69	-0,33	-0,49	-1,0 - 0,0	0,01
Precipitação	-0,17	-0,33	Não Calculado	-6,0 - 0,0	Não Calculado

Fonte: ([HIEN et al., 2002](#); [TAI](#); [MICKLEY](#); [JACOB, 2010](#))

É importante ressaltar que os trabalhos comparados utilizaram precipitações dos mesmos dias das medidas de concentrações de MP, o que não era possível realizar, visto que o instrumento de medição usado neste estudo sofreria danos e dessa forma, foram escolhidos os dados de cinco dias antes devido à melhor distribuição dos dados e correlação com as médias. O p-valor do teste F foi de 0,003 ($< 0,05$), ou seja, há evidências estatísticas de que pelo menos uma variável está relacionada com as concentrações médias. O R^2

ajustado obtido foi de 0,47 e significa que nesse modelo, os quatro parâmetros escolhidos representaram aproximadamente 47% do fenômeno, de forma que demonstra a necessidade da incorporação de outras variáveis no modelo, assim como maior quantidade de dados. Os p-valores dos parâmetros incorporados ao modelo foram 0,04 para temperatura; 0,007, para intensidade do vento e 0,01, para precipitação nos cinco dias anteriores. Vale ressaltar que os erros padrões associados a cada parâmetro foram: 0,38 para a temperatura; 0,22 para intensidade do vento e 0,06 para precipitação.

A partir da comparação com outros estudos, é possível observar que todos os coeficientes obtidos se enquadram dentro das faixas observadas por [Tai, Mickley e Jacob \(2010\)](#) no país norte americano. Em relação aos valores obtidos por [Hien et al. \(2002\)](#) houve divergência, acentuada na temperatura média, cujo sinal foi contrário, mas é possível observar proximidade entre os coeficientes de intensidade do vento e precipitação. Quando comparados com os coeficientes de [Moura et al. \(2015\)](#), nota-se que não houveram valores próximos, o que pode ser explicado pela classe de MP observada, de modo a indicar possíveis comportamentos divergentes das partículas de tamanhos diferentes em relação às variáveis meteorológicas, conforme observado no estudo de ([HIEN et al., 2002](#)), que verificou maior controle das concentrações de $MP_{2,5-10}$ por precipitação e umidade relativa.

As diferenças entre os resultados deste estudo e os outros utilizados para comparação, assim como entre eles, deve-se às variações climáticas de cada região e que cada estudo incorporou outras variáveis ao modelo, o que altera a influência das utilizadas nesta pesquisa. Vale ressaltar também, que todos os estudos utilizaram médias diárias para representar uma cidade inteira. enquanto neste estudo, as medições eram locais.

Ainda assim, é possível observar que a regressão mostrou que a intensidade do vento e a precipitação nos dias anteriores são fatores que influenciam negativamente as concentrações de $MP_{2,5}$, enquanto temperatura média apresentou correlação maior que zero e portanto, influenciam positivamente as concentrações. O parâmetro de maior peso obtido pelo modelo foi a temperatura média seguido da intensidade do vento e precipitação nos cinco dias anteriores.

4.6 VARIAÇÕES ESPACIAIS

Os dados retornados da posição de cada concentração estão apresentados nos mapas dos Apêndices A, B e C, classificados de acordo com a EPA e representam as sessões da Praça Ouvidor Pardiniho, Parque Jardim Botânico e Praça Oswaldo Cruz, respectivamente. Devido a erros de *GPS*, não foi possível elaborar os mapas das seguintes sessões: Na Praça Ouvidor Pardiniho, sessão dia 22 de outubro; No Parque Jardim Botânico, sessões dos dias 10 e 21 de outubro; Praça Oswaldo Cruz, sessão do dia 01 de outubro. Em todos os mapas pode ser observada alguma dispersão dos pontos, também devido a erros de captação das coordenadas pelo *GPS* do aparelho celular.

Na Praça Ouvidor Pardinho, conforme já discutido, a maioria dos valores se encontrou na classe "Boa", evidenciado pela maioria de pontos representativos de concentrações entre 0 e $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos mapas do Apêndice A, com exceção dos dias 25 de abril e 25 de setembro, a segunda teve sua totalidade na classe "Regular", enquanto a primeira apresentou alguns pontos na classe "Boa". A sessão do dia 30 de setembro, cuja média foi $10,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentou pontos na classe "Regular", concentrados nas laterais das ruas Getúlio Vargas e Nunes Machado e a sessão do dia 17 de março demonstrou alguns pontos de concentração entre $12,0$ e $35,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente à rua Vinte e Quatro de Maio. Contudo, não foi possível observar nenhuma região da praça em que as concentrações mais altas se agruparam mais de uma vez, ou seja, não é possível afirmar que os locais onde houveram concentrações na classe "Regular" possuam alguma relação apenas com as fontes de poluição.

No Parque Jardim Botânico, através do Apêndice B, é possível observar que a grande maioria das concentrações pode ser classificada como "Boa". Destacam-se somente os dias 25 de julho, que todos os pontos estão na classe "Regular", 25 de maio e 10 de outubro (Períodos 01 e 02) e novamente não pode se afirmar que as regiões onde a qualidade do ar foi considerar pior, relativamente ao MP, deve-se a atividade de alguma fonte específica.

Os mapas das sessões da Praça Oswaldo Cruz apresentaram maior distribuição em relação às classes, entre as sessões e dentro de cada sessão. De forma que é possível observar quase a totalidade de pontos classificados como "Regular" nos dias 28 de julho e 19 de setembro, enquanto nos dias 20 de outubro e 23 de setembro. Os mapas restantes apresentaram distribuição nas classes, mas no dia 21 de agosto houveram mais valores na classe "Regular" (49,36%) que no dia 18 de outubro (24,11%). As sessões de 19/09 e 18/07 foram as únicas de todo estudo que demonstraram concentrações classificadas como "Inadequada para Grupos Sensíveis", porém de forma insignificativa na sessão de julho, enquanto na sessão de setembro, 2,05% estavam nessa classe. Mais uma vez, nenhum padrão foi observado entre as sessões que apresentasse motivos das concentrações mais altas estarem apresentadas nas regiões em que estavam.

4.7 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Conforme apontado, em nenhum dos locais analisados, houve superação da diretriz da OMS, de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas médias. Apesar deste fato, é importante destacar que, em geral, a Praça Oswaldo Cruz apresentou as maiores médias em relação aos outros dois locais e isso se explica pela maior movimentação de veículos em seu entorno e maior proximidade das pistas da praça com as ruas, principalmente ao se comparar com o Parque Jardim Botânico, que possui uma grande distância entre as pistas onde foram realizadas medições e as rodovias ao redor do parque.

A Figura 28 apresenta os *box-plots* gerados a partir das médias das sessões em cada local. Nos três locais, é possível observar distância entre média e mediana, o que determina dispersão e variabilidade de dados, que, nesse caso, demonstra alta diferença entre os dados das sessões, que variaram de acordo com o dia, com as condições meteorológicas, além de outras variáveis que não foram mensuradas nesse estudo. Ainda, observa-se que em todos os locais os valores máximos e mínimos, representados pelos segmentos de reta encontravam-se fora dos limites superiores e inferiores, respectivamente.

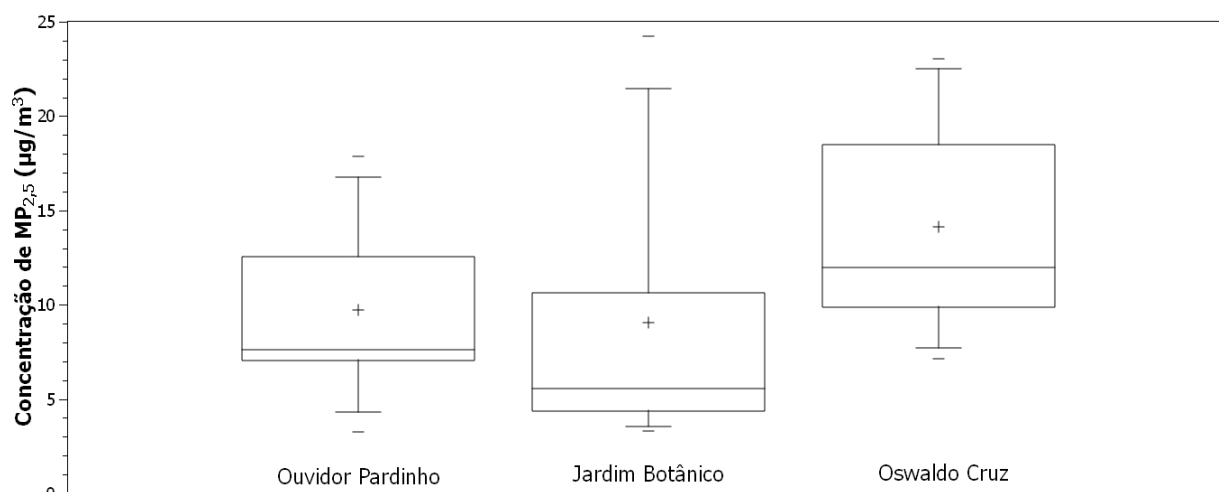


Figura 28 – Box-Plots Referentes às Concentrações Médias de Cada Sessão. Legenda: (+): Média; (-): Máximos e Mínimos; Reta dentro da caixa: mediana; Fundo da caixa: 1º quartil; Topo da caixa: 3º quartil; Segmentos de reta ligado à caixa: limites superior e inferior.

Em todos os locais de análise, nota-se que a mediana está muito mais próxima do primeiro quartil, enquanto o terceiro quartil encontra-se distante, o que representa maior acúmulo nos dados de menores concentrações.

É possível notar, de acordo com as medianas e médias, que a Praça Oswaldo Cruz apresentou-se como o local com concentrações mais elevadas de $MP_{2,5}$, apesar da maior média ter sido apresentada no Parque Jardim Botânico. Essa maior média apresentou-se como dado discrepante das médias restantes no mesmo local, como observado na Figura, que o limite superior se distanciou desproporcionalmente do terceiro quartil. E, apesar das médias próximas, a mediana da Praça Ouvidor Pardinho se mostrou acima do Parque Jardim Botânico, apesar das médias próximas. A média distante da mediana no Jardim Botânico pode ser explicada pelo valor máximo ($24,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$) discrepante que tendenciou a média a se elevar.

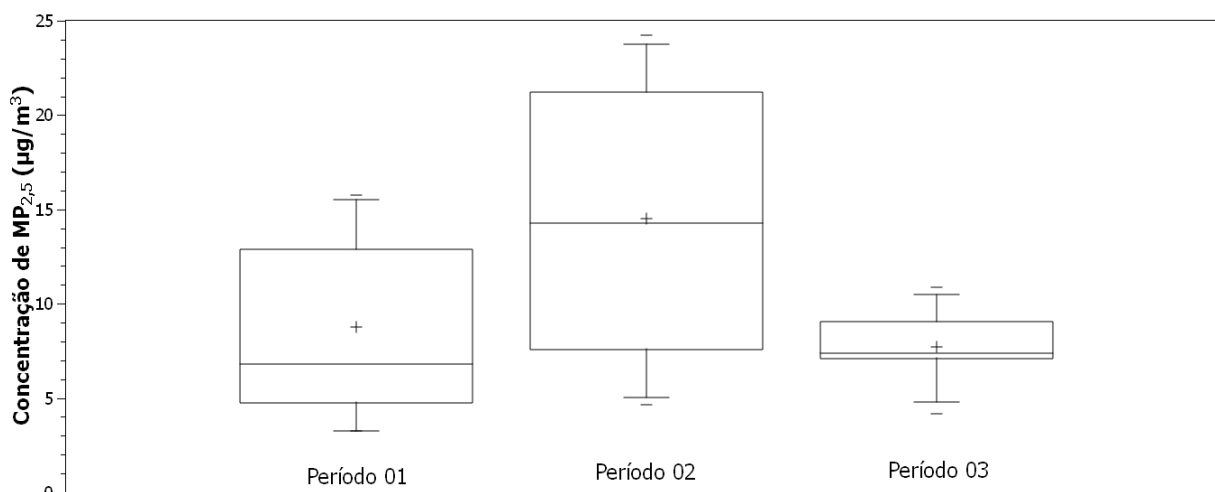


Figura 29 – Box-Plots Referentes às Concentrações Médias Associadas aos Períodos de Medição. Legenda: (+): Média; (-): Máximos e Mínimos; Reta dentro da caixa: mediana; Fundo da caixa: 1º quartil; Topo da caixa: 3º quartil; Segmentos de reta ligado à caixa: limites superior e inferior.

Outro fato de destaque é a diferença entre as médias e medianos nos Período 01 (manhã), 02 (fim da tarde) e 03 (final de semana), apresentadas nos *box-plots* da Figura 29. Foi observado que, nos momentos caracterizados pela intensa circulação de veículos (Período 02), a média e a mediana foram superiores em relação aos outros períodos. Ainda é importante ressaltar que nesse período de concentrações mais elevadas, a mediana e a média estão muito próximas, o que evidencia a uniformidade dos dados nessa análise. Os valores máximos e mínimos, representados pelos segmentos de reta, se encontraram fora dos limites superior e inferior, respectivamente, com exceção do valor mínimo do Período 01, que coincidiu com o limite inferior.

A presença de MP nos três locais, de forma mais destacada nas regiões central e nos períodos de maior movimentação veicular, nos permite identificar a principal fonte móvel de MP nos três locais analisados como os veículos automotores, visto que as partículas finas se originam principalmente das emissões diretas do processo de combustão, como a de gasolina e diesel, queima de madeira e carvão (III; DOCKERY, 2006). Ainda é relevante citar que Ahn (1998) observou que as emissões estão mais relacionadas com a aceleração dos veículos que com a velocidade, de forma que um trajeto em que se varia muito a velocidade, com desacelerações frequentes, como em horários de trânsito intenso, os veículos emitem de 300 a 400% mais poluentes em relação a uma viagem de velocidade constante.

Os carros de passeio, que representam quase 70% da frota do município de Curitiba, emitem MP a partir de processos funcionais do veículo, assim como de ações mecânicas de desgaste de peças como freio, válvulas e pistões, de forma que é observada variação acordo com o modelo do veículo (DETRAN, 2018; NAM et al., 2008).

Apesar de serem exigidos mais estudos para entender de forma plena como as partículas são emitidas pelos carros de passeio, sabe-se que existe emissão a partir da queima incompleta de combustíveis e apesar de não serem prevalentes como no diesel, os motores a gasolina também podem gerar fuligem, de acordo com a razão ar/combustível, ainda podem originar sulfatos e fosfatos a partir da queima de compostos de enxofre e fósforo presentes no óleo utilizado nos motores. A gasolina apesar dos menores teores de enxofre em relação ao diesel, possui traços de elementos metálicos e de óleos que também emitem MP (NAM et al., 2008).

Quanto aos veículos movidos a diesel, representam aproximadamente 20% da frota, dentre caminhonetes, ônibus e caminhões (DETRAN, 2018). A principal emissão de material particulado observada nos veículos movidos à diesel é oriunda da combustão de compostos de enxofre, na qual, o produto gerado em sua maioria é como SO_2 , mas uma parcela, entre 2 e 5% é emitida como SO_3 , que tem potencial de reagir com H_2O para formar ácido sulfúrico e MP (SQUAIELLA, 2010).

Contudo, mesmo com grande fluxo de veículos nos locais e horários analisados, não houveram momentos significativos temporalmente em que a qualidade do ar se tornou inadequada, nem para grupos sensíveis e isso pode ser explicado, dentre outros fatores, pela composição da frota em Curitiba, pois os veículos de passeio comercializados no Brasil não utilizam diesel, devido a proibição regulamentada da Portaria MIC (Ministério da Indústria e do Comércio) nº 346 de 1976, de modo que as emissões de MP são menores pela menor concentração de enxofre no combustível e ainda que a emissão de $\text{MP}_{2,5}$ exista, ainda é maior quando proveniente de veículos movidos a diesel.

As análises de variação espacial apresentaram *hot-spots* de pequena extensão referentes à poluição das fontes móveis, caracterizadas como os veículos, principalmente de passeio. Contudo, não foi possível identificar o fator que correspondeu a localidade desses pontos.

5 CONCLUSÕES

O monitoramento de $MP_{2,5}$ nas Praças Ouvidor Pardinho e Oswaldo Cruz e no Parque Jardim Botânico foi realizado em 21 sessões com o equipamento *AirBeam*. Através da discussão dos dados obtidos, verificou-se que, em relação às legislações nacionais e internacionais e da diretriz da OMS, não houve nenhuma média que excedesse os padrões indicados. Quanto às classes indicadas pela EPA, a grande maioria das concentrações instantâneas medidas se enquadrou como boa ou regular, de modo que apenas valores insignificantes quantitativamente, se apresentaram como inadequados para os grupos sensíveis. Sendo assim, de acordo com os padrões das instituições analisadas, nesse estudo, pôde-se considerar seguro praticar exercícios ou frequentar as praças e parque objetos desse estudo em relação às concentrações de material particulado fino, ainda que sejam necessários mais estudos para avaliar as áreas de forma mais precisa.

Pôde-se observar variações inter-regionais das concentrações do poluente analisado, de modo que a Praça Oswaldo Cruz apresentou as maiores médias nas sessões, devido ao fluxo mais intenso de veículos nesse local. Enquanto o Parque Jardim Botânico apresentou as menores concentrações, conforme esperado, fato que pode estar relacionado à presença de árvores e vegetação em forma de bosque, que possuem a capacidade de reter partículas.

Entre os períodos analisados, observou-se, a partir de análises estatísticas, que o período do fim da tarde, no qual existe maior fluxo de veículos, se caracterizou pelas maiores concentrações, respondendo as expectativas, visto que os veículos foram identificados como as principais fontes de material particulado nos locais escolhidos.

As curvas de distribuição acumulada obtidas nos permitiram visualizar a variação que existe, mesmo em análise de pequenos períodos. Nesse estudo, foram observados coeficientes de variação entre 0,12 e 0,62 dentre todas as medições, demonstrando que mesmo em períodos menores que uma hora, os valores instantâneos de concentração podem variar de acordo com a localização do ponto devido às dinâmicas na qual as fontes carregam partículas e outros fatores, como barreiras para o fluxo de ar ou a distância entre o local e as fontes.

A regressão linear múltipla entre as concentrações médias e os parâmetros meteorológicos nos permitiu identificar que, nesse estudo, a temperatura foi o fator que mais influenciou as concentrações, seguido da intensidade do vento e precipitação nos cinco dias anteriores. O resultado demonstra que quanto maior a intensidade do vento, menor será a concentração de $MP_{2,5}$ e visto que o particulado fino é menor e mais leve, a análise corresponde a expectativa, pois a precipitação não é capaz de remover partículas finas tão bem quanto MP_{10} . A falta de correlação da variável de umidade relativa pode

estar relacionada ao fato dela estar intrínseca na variável temperatura e dessa forma, o modelo pode não responder de forma ideal, de modo que a umidade absoluta pode ser uma alternativa para inclusão. Entretanto, para a representatividade da análise ser maior, mais dados são necessários para aprimorar o cálculo, pois a distância entre a estação meteorológica e os locais de medição pode dificultar a representatividade da análise.

O modelo da regressão linear múltipla se apresentou como uma alternativa de previsão de concentrações interessante, mas para isso, seriam necessários mais dados e ainda incorporação de mais variáveis ao modelo, como a distância até as fontes, variabilidade horária, composição química das emissões, entre outras.

A utilização do sensor *AirBeam* mostrou grande potencial de aplicação, visto que é um equipamento de baixo custo, projetado com foco na democratização da informação científica. A nova abordagem de medições instantâneas determina uma outra forma de enxergar os dados e as variações das concentrações de partículas no ar, pois as medições dessa forma são realizadas de forma pessoal e podem fornecer uma quantidade muito maior de dados, assim como maior distribuição deles. Cada equipamento de medição de particulado de referência pode custar em torno de 100 vezes mais que um sensor baseado no espalhamento da luz, de modo que pode ser avaliado pelo poder público como alternativa para expansão das redes de monitoramento de poluição atmosférica. Apesar dos resultados indicarem qualidade boa dentro das referências comparadas, os problemas respiratórios ainda são o maior problema da saúde pública da cidade, demonstrando que se deve buscar a expansão e procurar adotar mais medidas mitigatórias de emissões, como aprimoramento do transporte coletivo, incentivos fiscais para compras de veículos híbridos ou elétricos e maior controle das emissões veiculares, além do monitoramento contínuo.

Esse estudo pode contribuir para a compreensão do comportamento das partículas na atmosfera sob uma perspectiva temporal curta e permitir observar a exposição pessoal ao poluente. Porém, novos estudos devem ser realizados para entender as variações instantâneas e locais de MP, por exemplo, relacionar de forma regional as concentrações com casos de problemas respiratórios ou analisar a magnitude das variações ao longo de um dia para encontrar suas causas.

REFERÊNCIAS

- AHN, K. Microscopic fuel consumption and emission modeling. Estados Unidos da América, 1998.
- AIRCASTING. *About*. 2010. Disponível em: <<http://aircasting.org/about>>. Acesso em: 17 mar. 2018.
- ALEMIDA, I. Torres de. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. *Escola Politecnica, Universidade de São Paulo*, São Paulo, 1999.
- ALESP. *Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Decreto nº 59.113 - Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas*. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/170057>>. Acesso em: 15 jul. 2018.
- ANDRÉ, P. d. A. Coletor de material particulado "harvard"pm10 / pm2,5: Manual de instalação, operação e manutenção. *FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO*, São Paulo, 2014.
- BAIRD, C.; CANN, M. *Environmental Chemistry*. Canadá: W. H. Freeman, 2008. (Environmental Chemistry, v. 1).
- BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. *REVISTA USP*, Brasil, 2001.
- CETESB. *Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo. Qualidade do Ar*. São Paulo: [s.n.], 2001. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp#mp>. Acesso em: 28 mar. 2018.
- CHUNG, A. et al. Comparison of real-time instruments used to monitor airborne particulate matter. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Taylor & Francis, Estados Unidos da América, v. 51, n. 1, p. 109–120, 2001.
- CONAMA. *Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 3 - Dispõe sobre a Qualidade do Ar, definições e padrões*. [S.l.], 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2018.
- CONAMA. *Conselho Nacional de Meio Ambiente. Processo 02000.002704/2010-22 - Proposta Revisão da Resolução CONAMA 03/1990*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/processo.cfm?processo=02000.002704/2010-22>>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- DETRAN. *Departamento de Trânsito. Frota de Veículos Cadastrados por Municípios e Tipo*, Paraná. 2018. Disponível em: <<http://www.detran.pr.gov.br/modules/catasg/servicos-detalhes.php?tema=transitoseguro&id=638>>. Acesso em: 22 mai. 2018.
- DONG, G.-H. et al. Long-term exposure to ambient air pollution and respiratory disease mortality in shenyang, china: A 12-year population-based retrospective cohort study. *Respiration*, S. Karger AG, China, v. 84, n. 5, p. 360–368, 2012.

ELSOM, D.; CHANDLER, T. Meteorological controls upon ground level concentrations of smoke and sulphur dioxide in two urban areas of the united kingdom. *Atmospheric Environment* (1967), v. 12, n. 6, p. 1543 – 1554, 1978. ISSN 0004-6981. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0004698178900999>>.

EPA. *Environmental Protection Agency. Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter and PM₁₀ Using High Volume Sampler*. Estados Unidos da América, 1999.

EPA. *Environmental Protection Agency. Particulate Pollution and Your Health*. 2003. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

EPA. *Envirionmental Protection Agency. Federal Register Vol. 78, N. 10*. Estados Unidos da América, 2013.

EPA. *Environmental Protection Agency. Particulate Matter Basics*. 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

EU. *European Parliament and The Council of the Europe Union. DIRECTIVE 2008/50/EC - Relating to Limit Values for Sulphur Dioxide, Nitrogen Dioxide and Oxides of Nitrogen, Particulate Matter and Lead in Ambient Air*. Bélgica: [s.n.], 1999. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:en:PDF>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

EU. *European Parliament and The Council of the Europe Union. DIRECTIVE 2008/50/EC - Ambiente Air Quality and Cleaner Air for Europe*. Bélgica: [s.n.], 2008. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:en:PDF>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

FARIAS, A. M. L. de. *Fundamentos de Estatística Aplicada*. Rio de Janeiro.

FREITAS, C. et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em são paulo, 1993 a 1997. *Revista Saúde Pública*, 2004.

GIDHAGEN, L. e. a. *Emissions and Impact on Air Quality of Particulate Matter and Black Carbon in Curitiba, Paraná, Brazil*. Curitiba, 2018. Disponível em: <https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.131504!/ParCur_report_phase_1_final.pdf>.

GILBERT, M. S.; CLARK, N. N. Measurement of particulate matter from diesel engine exhaust using a tapered element oscillating microbalance. *International Journal of Engine Research*, SAGE Publications, Estados Unidos da América, v. 2, n. 4, p. 277–287, aug 2001.

GODISH, T.; FU, J. *Air Quality, Fourth Edition*. Estados Unidos da América: Taylor & Francis, 2003.

GODOI, R. et al. Risk assessment and spatial chemical variability of pm collected at selected bus stations. v. 6, 12 2013.

GODOI, R. H. et al. Healthy environment — indoor air quality of brazilian elementary schools nearby petrochemical industry. *Science of The Total Environment*, v. 463-464, p. 639 – 646, 2013. ISSN 0048-9697. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713006955>>.

GPS.GOV. *Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. GPS Accuracy*. 2017. Disponível em: <<https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

HABITATMAP. *AirBeam Technical Specifications, Operation & Performance*. 2014. Disponível em: <<http://www.takingspace.org/airbeam-technical-specifications-operation-performance/>>. Acesso em: 3 mai. 2018.

HIEN, P. et al. Influence of meteorological conditions on pm2.5 and pm 2.5 - 10 concentrations during the monsoon season in hanoi, vietnam. *Atmospheric Environment*, v. 36, n. 21, p. 3473 – 3484, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231002002959>>.

IAP. *Instituto Ambiental do Paraná. Relatório Anual da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba*. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=131>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil em Síntese*. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

III, C. A. P.; DOCKERY, D. W. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Taylor & Francis, v. 56, n. 6, p. 709–742, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>>.

IPPUC. *Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Contagem de Tráfego*. 2012. Disponível em: <<http://www.ippuc.org.br/>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

JIAO, W. et al. Community air sensor network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern united states. *Atmospheric Measurement Techniques*, Copernicus GmbH, v. 9, n. 11, p. 5281–5292, nov 2016.

JOHNSON, K. K. et al. Using low cost sensors to measure ambient particulate matter concentrations and on-road emissions factors. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, Copernicus GmbH, Estados Unidos da América, p. 1–22, feb 2016.

LADEN, F. et al. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six u.s. cities. *Environ Health Perspect*, Estados Unidos da América, v. 108, n. 10, p. 941–947, Oct 2000. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240126/>>.

LI, N.; XIA, T.; NEL, A. E. The role of oxidative stress in ambient particulate matter-induced lung diseases and its implications in the toxicity of engineered nanoparticles. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 44, n. 9, p. 1689 – 1699, 2008. ISSN 0891-5849. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584908000713>>.

LIM, J.-M. et al. Airborne PM10 and metals from multifarious sources in an industrial complex area. *Atmospheric Research*, Elsevier BV, República da Coréia, v. 96, n. 1, p. 53–64, abr 2010.

LIPPMANN, M. e. a. The u.s. environmental protection agency particulate matter health effects research centers program: A midcourse report of status, progress, and plans. *Environmental Health Perspectives*, Estados Unidos da América, 2003.

LU, F. et al. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2.5 and PM10 pollution in the chinese population. *Environmental Research*, Elsevier BV, China, v. 136, p. 196–204, jan 2015.

MARTINS, L. C. et al. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em são paulo, brasil. *Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP)*, Brasil, 2001.

MOURA, I. F. S. et al. Avaliação a partir da análise de regressão da influência de parâmetros meteorológicos da poluição atmosférica de mp-10 em um ponto de belo horizonte. Belo Horizonte, 2015.

MÜHLFELD, C. et al. Interactions of nanoparticles with pulmonary structures and cellular responses. Suíça, v. 294, p. L817–29, 06 2008.

NAM, E. et al. *Environmental Protection Agency. Analysis of Particulate Matter Emissions from Light-Duty Gasoline Vehicles in Kansas City*. [S.l.], 2008.

NETO, P. L. de O. C. *Estatística*. 2. ed. São Paulo: [s.n.], 2002.

PERKINS, H. C. H. C. *Air pollution*. Estados Unidos da América: New York : McGraw-Hill, 1974. - - Solutions manual to accompany Air pollution. - 1974. - 156p.

PMC. *Prefeitura Municipal de Curitiba. Programa Crescendo com Saúde*. Curitiba, 2000.

PMC. *Prefeitura Municipal de Curitiba. Parques e Bosques*. 2018. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/jardim-botanico/287>>. Acesso em: 01 mai. 2018.

PMC. *Prefeitura Municipal de Curitiba. Reinauguração da Praça Oswaldo Cruz*. 2018. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/tv/reinauguracao-da-praca-oswaldo-cruz-curitiba-325-anos/3903>>. Acesso em: 21 jul. 2018.

POLEZER, G. *MATERIAIS ANTROPOGÊNICOS SUSPENSOS NA ATMOSFERA DE CURITIBA*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SAMOLI, E. et al. Which specific causes of death are associated with short term exposure to fine and coarse particles in southern europe? results from the med-particles project. *Environment International*, Grécia, v. 67, p. 54 – 61, 2014.

SILVA, C. B. P. da et al. Evaluation of the air quality benefits of the subway system in são paulo, brazil. *Journal of Environmental Management*, São Paulo, v. 101, p. 191 – 196, 2012.

SQUAIELLA, L. L. F. *Efeitos do Sistema de Recirculação dos Gases de Escape no Controle de Emissões de NOx em Motores a Diesel*. Dissertação (Mestrado) — UNICAMP, 2010.

TAI, A. P.; MICKLEY, L. J.; JACOB, D. J. Correlations between fine particulate matter (pm_{2.5}) and meteorological variables in the united states: Implications for the sensitivity of pm_{2.5} to climate change. *Atmospheric Environment*, v. 44, n. 32, p. 3976 – 3984, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223101000539X>>.

TAKAHASHI, K.; MINOURA, H.; SAKAMOTO, K. Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter. *Atmospheric Environment*, Japão, v. 42, n. 21, p. 5232 – 5240, 2008.

VELLINGIRI, K. et al. Ambient particulate matter in a central urban area of seoul, korea. *Chemosphere*, República da Coreia, v. 119, p. 812 – 819, 2015.

WANG, Y. et al. Laboratory evaluation and calibration of three low-cost particle sensors for particulate matter measurement. *Aerosol Science and Technology*, Taylor & Francis, Estados Unidos da América, v. 49, n. 11, p. 1063–1077, 2015.

WAYNE, R. *Chemistry of Atmospheres: An Introduction to the Chemistry of the Atmospheres of Earth, the Planets, and Their Satellites*. [S.l.]: Oxford University Press, 2000.

WEDDING, J.; WEIGAND, M. An automatic particle sampler with beta gauging. Estados Unidos da América, v. 43, p. 475–479, 04 1993.

WHO. *World Health Organization. Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*. Alemanha, 2005.

WHO. *World Health Organization. Air Quality Guidelines, Global Update*. Alemanha, 2005.

WHO. *World Health Organization. Ambient Air Pollution: A global assesment of exposure and burden of disease*. Alemanha, 2012.

WILSON, W. et al. Monitoring of particulate matter outdoors. *Chemosphere*, Estados Unidos da América, v. 49, n. 9, p. 1009 – 1043, 2002.

WISEMAN, C. L.; ZEREINI, F. Characterizing metal(loid) solubility in airborne pm₁₀, pm_{2.5} and pm₁ in frankfurt, germany using simulated lung fluids. *Atmospheric Environment*, Canadá, v. 89, p. 282 – 289, 2014.

YIN, S. et al. Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in shanghai, china. *Environmental Pollution*, Elsevier BV, China, v. 159, n. 8-9, p. 2155–2163, aug 2011.

ZHANG, L. wen et al. Long-term exposure to high particulate matter pollution and cardiovascular mortality: A 12-year cohort study in four cities in northern china. *Environment International*, Elsevier BV, China, v. 62, p. 41–47, jan 2014.

A MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA PRAÇA OUVIDOR PARDINHO





673650

673800



Avenida Iguaçu

Rua Nunes Machado

Rua Vinte e Quatro de Maio

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} (µg/m³)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

Bom Retiro
Ltda

Mercadorama

Posto de
Saúde
Ouvidor
Pardinho

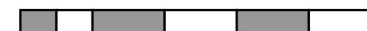
Rua Vinte e Quatro de Maio

Avenida Presidente Getúlio Vargas

**Distribuição das
Concentrações nos Pontos
Coletados em Sessão na
Praça Ouvidor Pardinho -
24/07/2018**

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000

10 0 10 20 30 40 m



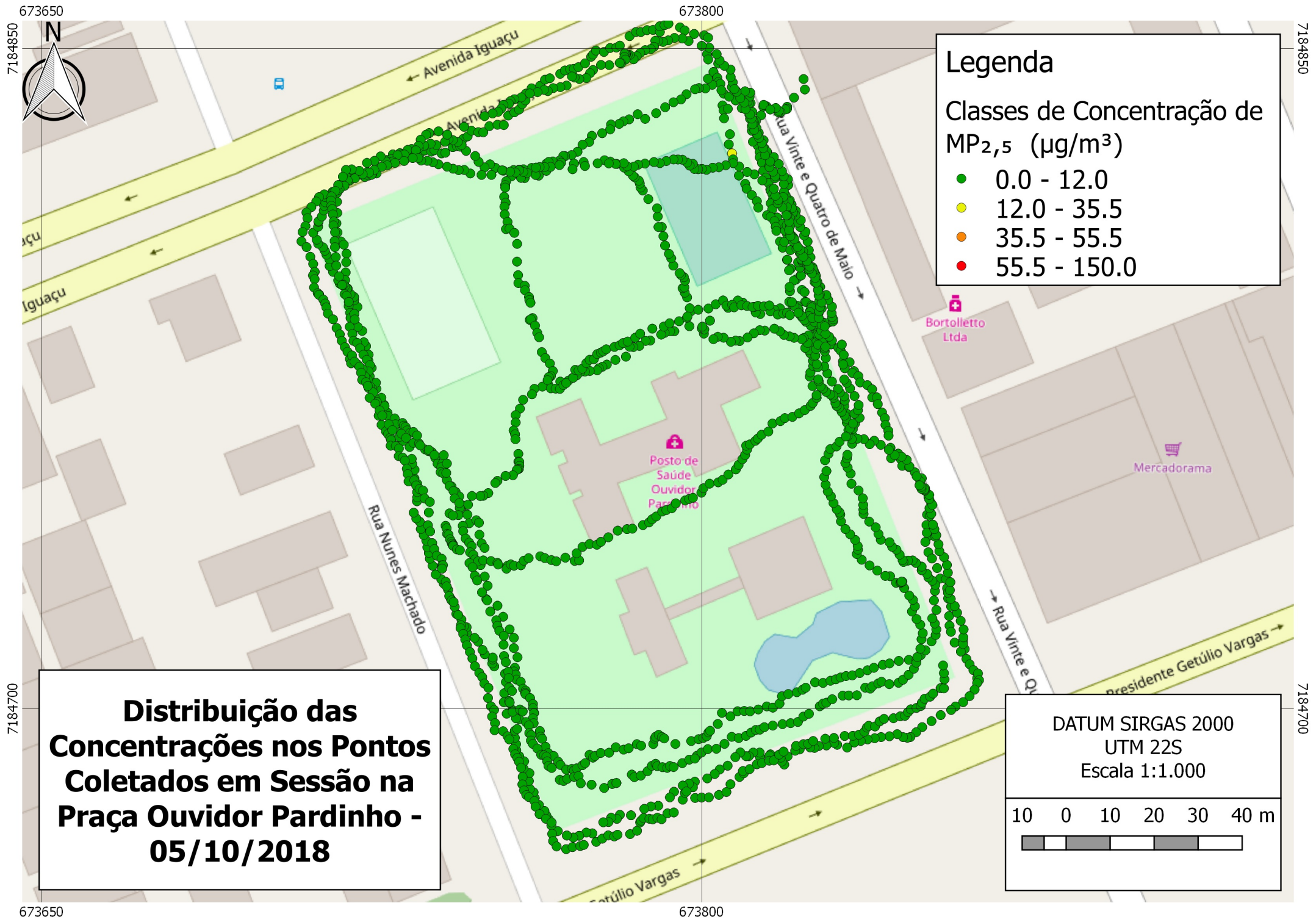
673650

673800

7184700







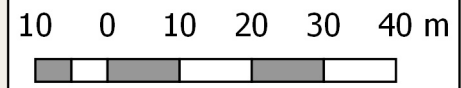
Legenda

Classes de Concentração de $MP_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)

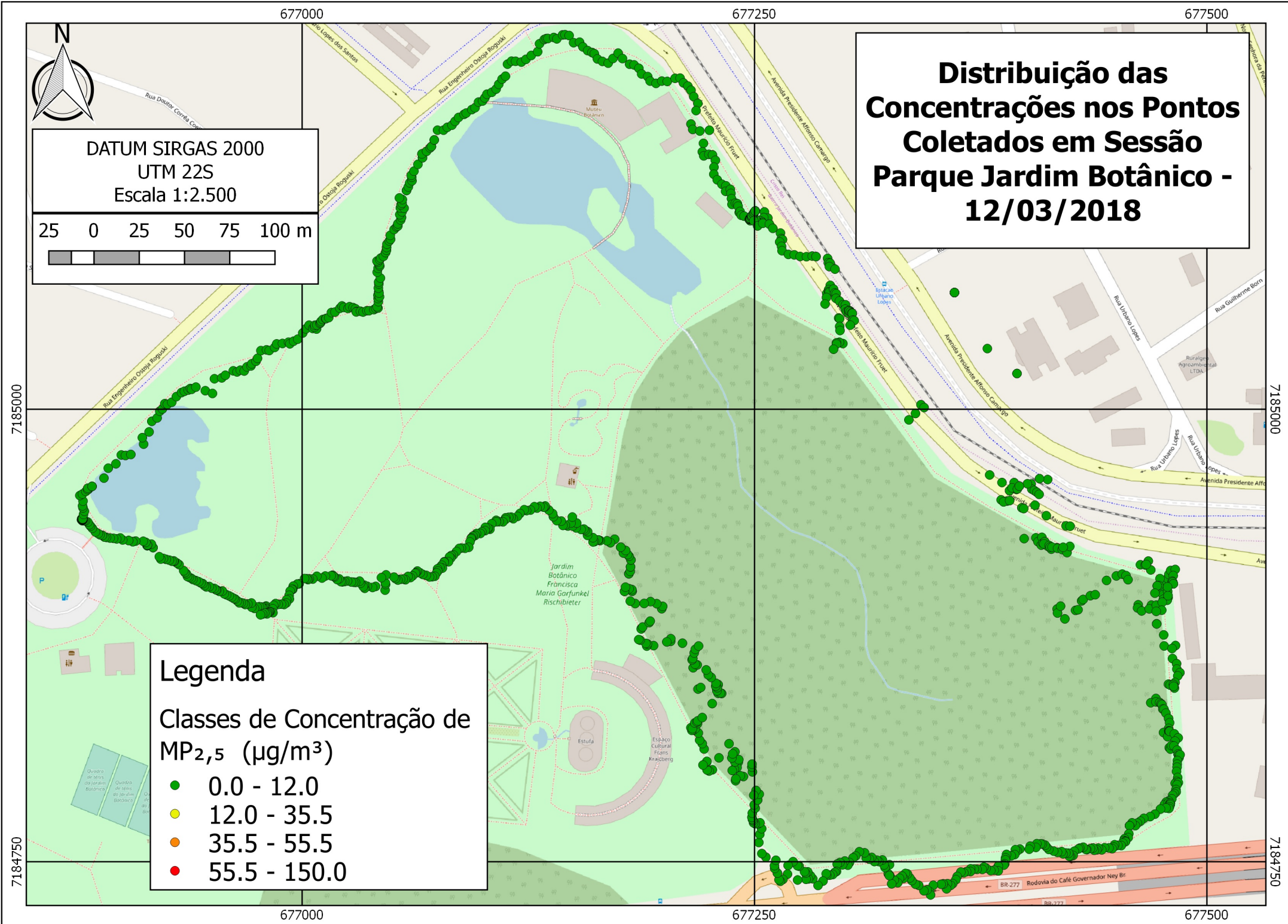
- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

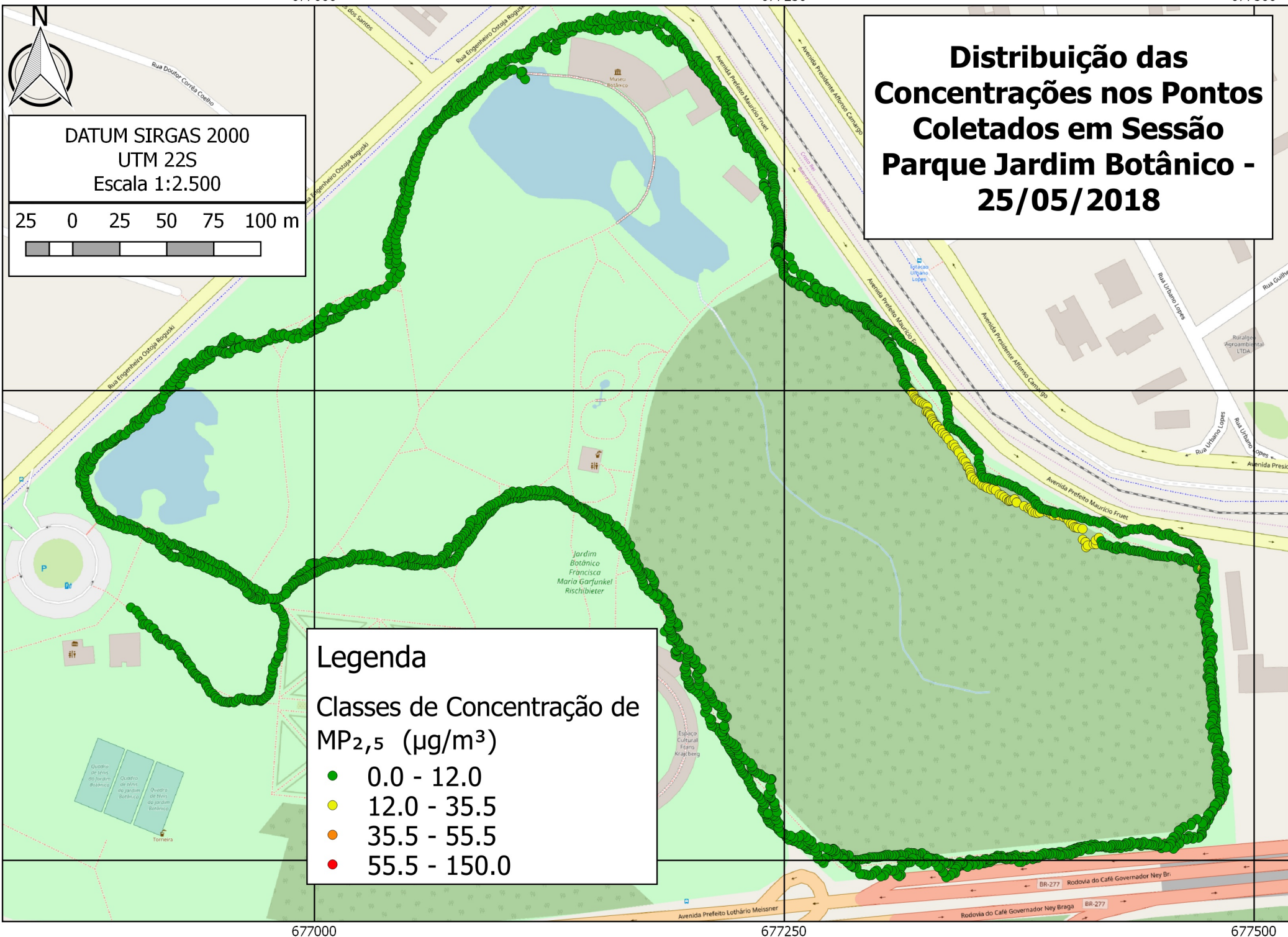
**Distribuição das
Concentrações nos Pontos
Coletados em Sessão na
Praça Ouvidor Pardini -
05/10/2018**

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000



B MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NO PARQUE JARDIM BOTÂNICO

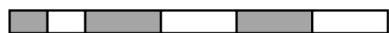






DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:2.500

25 0 25 50 75 100 m



Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão Parque Jardim Botânico - 25/07/2018

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

7185000

7184750

677000

677250

677500

7185000

7184750

677000

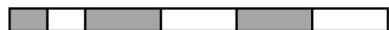
677250

677500



DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:2.500

25 0 25 50 75 100 m

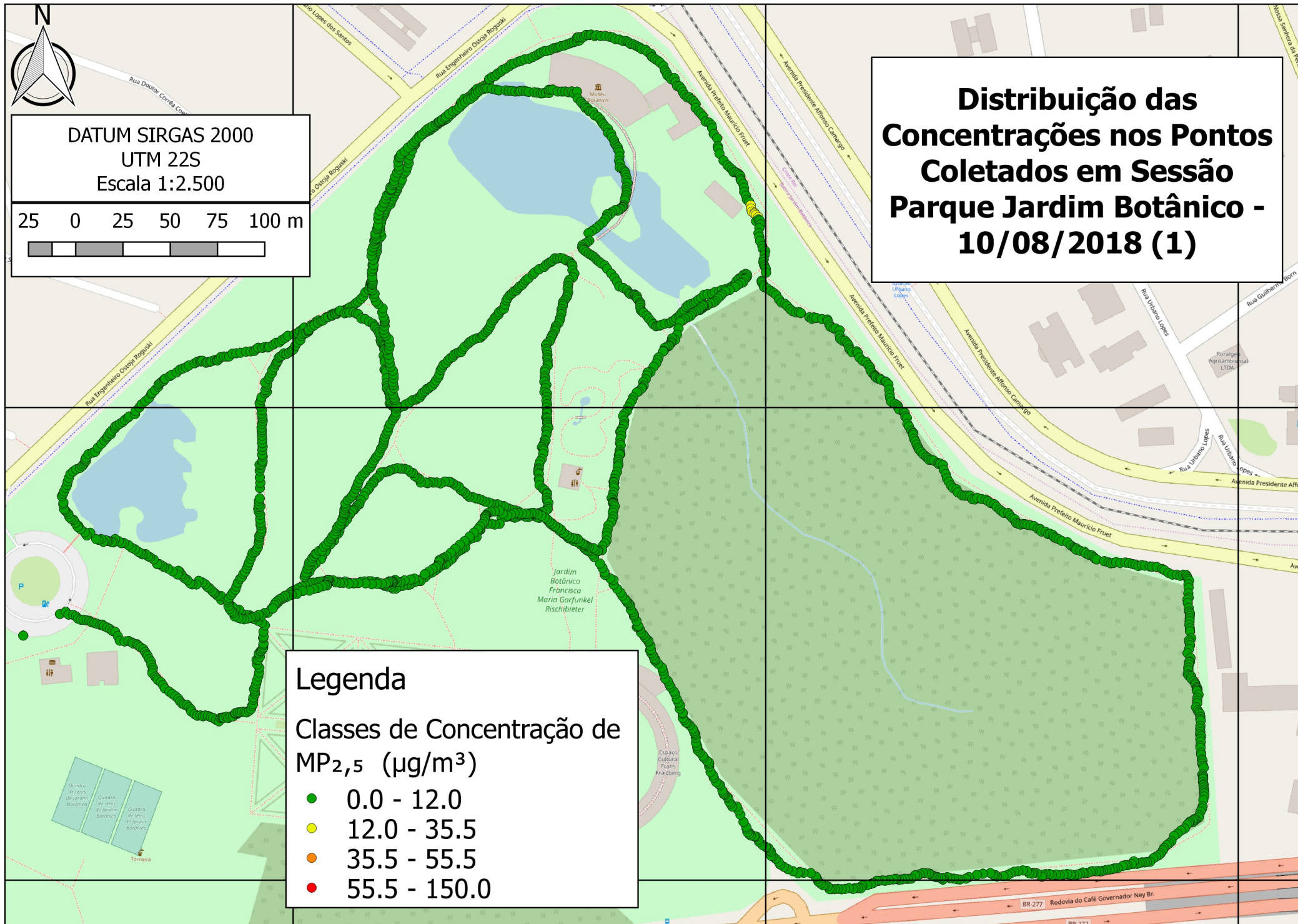


Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão Parque Jardim Botânico - 10/08/2018 (1)

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

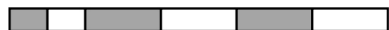
- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0





DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:2.500

25 0 25 50 75 100 m

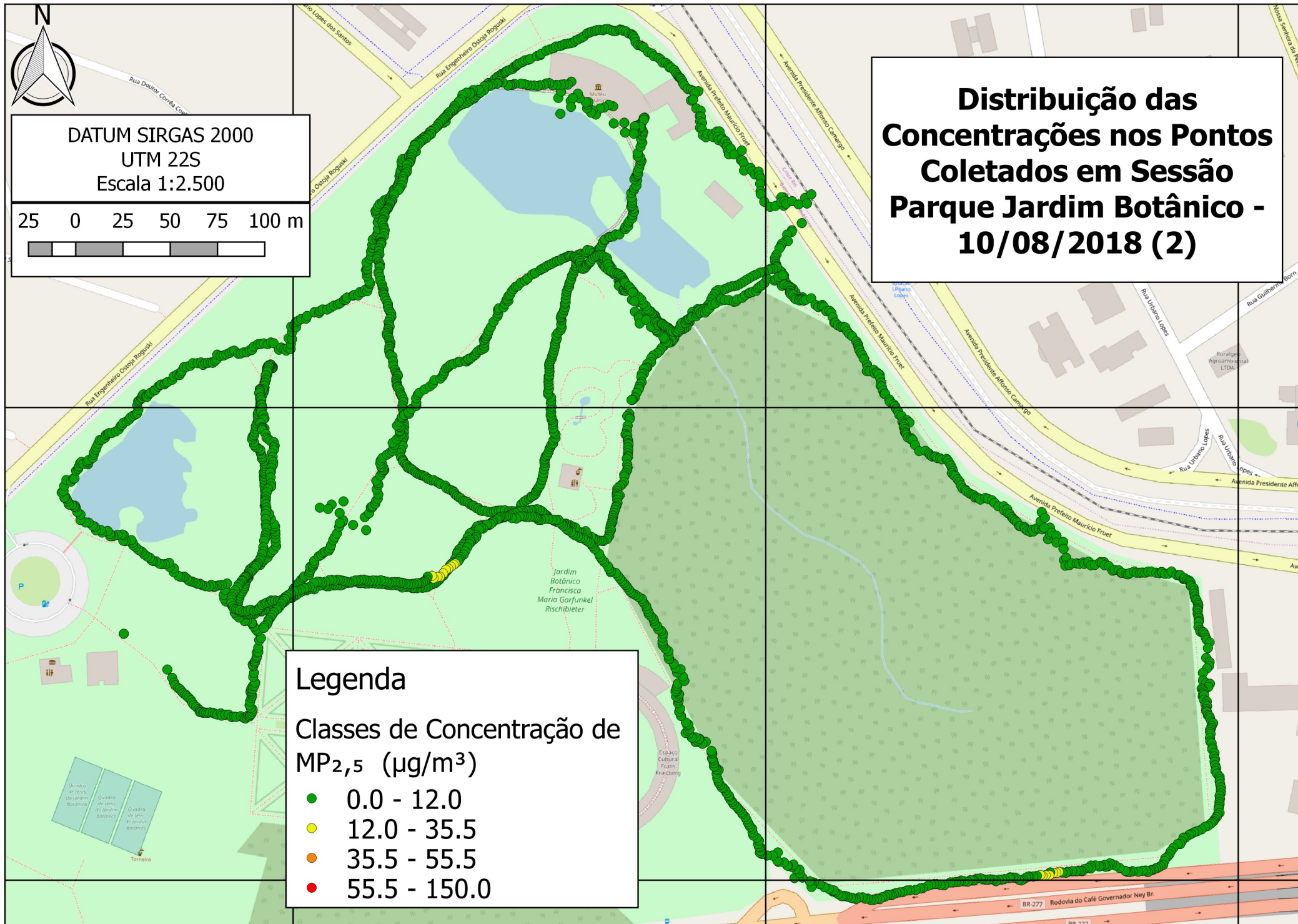


Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão Parque Jardim Botânico - 10/08/2018 (2)

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0



C MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA PRAÇA OSWALDO CRUZ



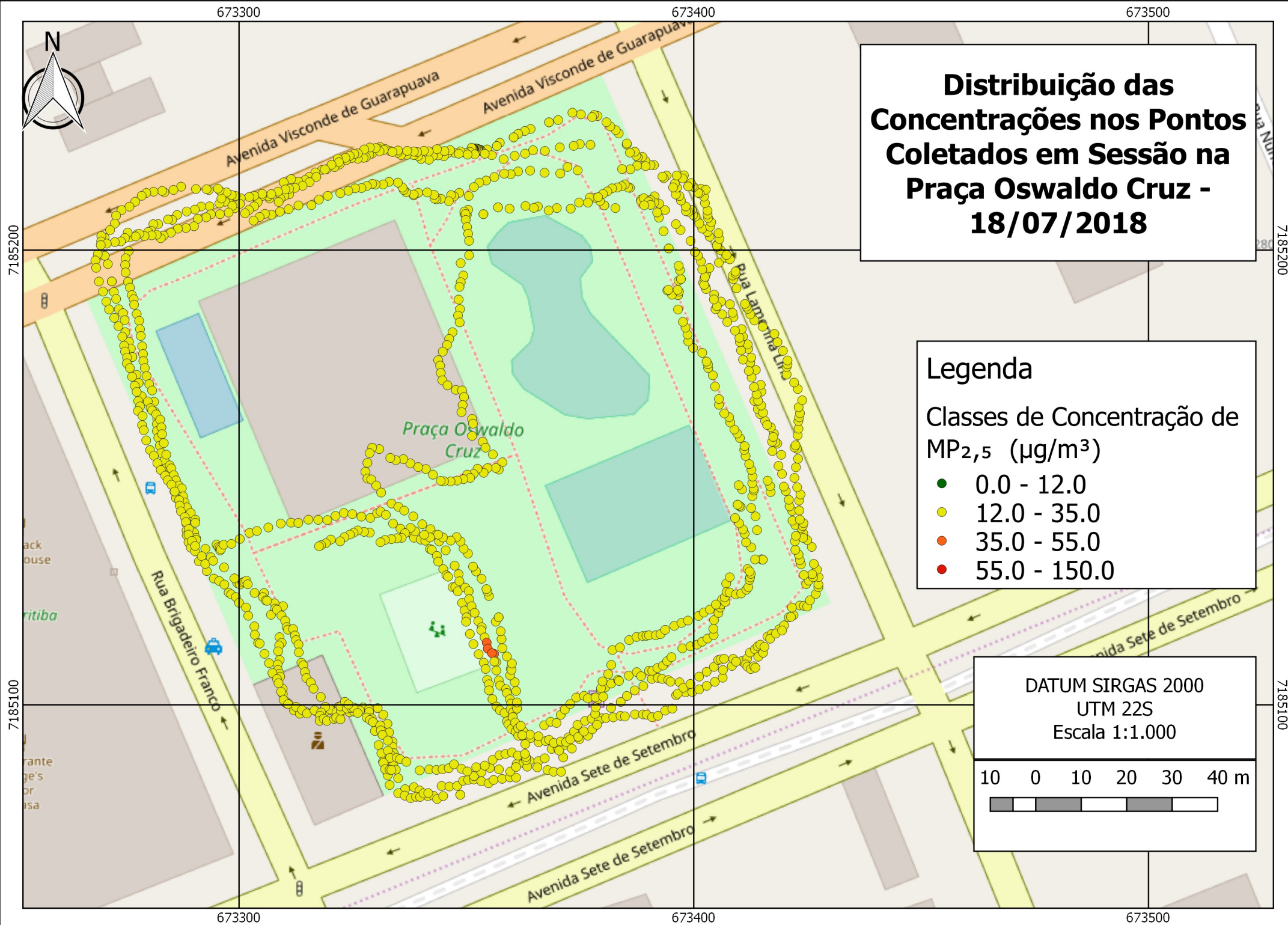
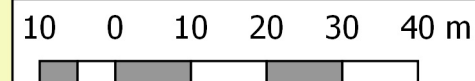
Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão na Praça Oswaldo Cruz - 18/07/2018

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} (µg/m³)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.0
- 35.0 - 55.0
- 55.0 - 150.0

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000





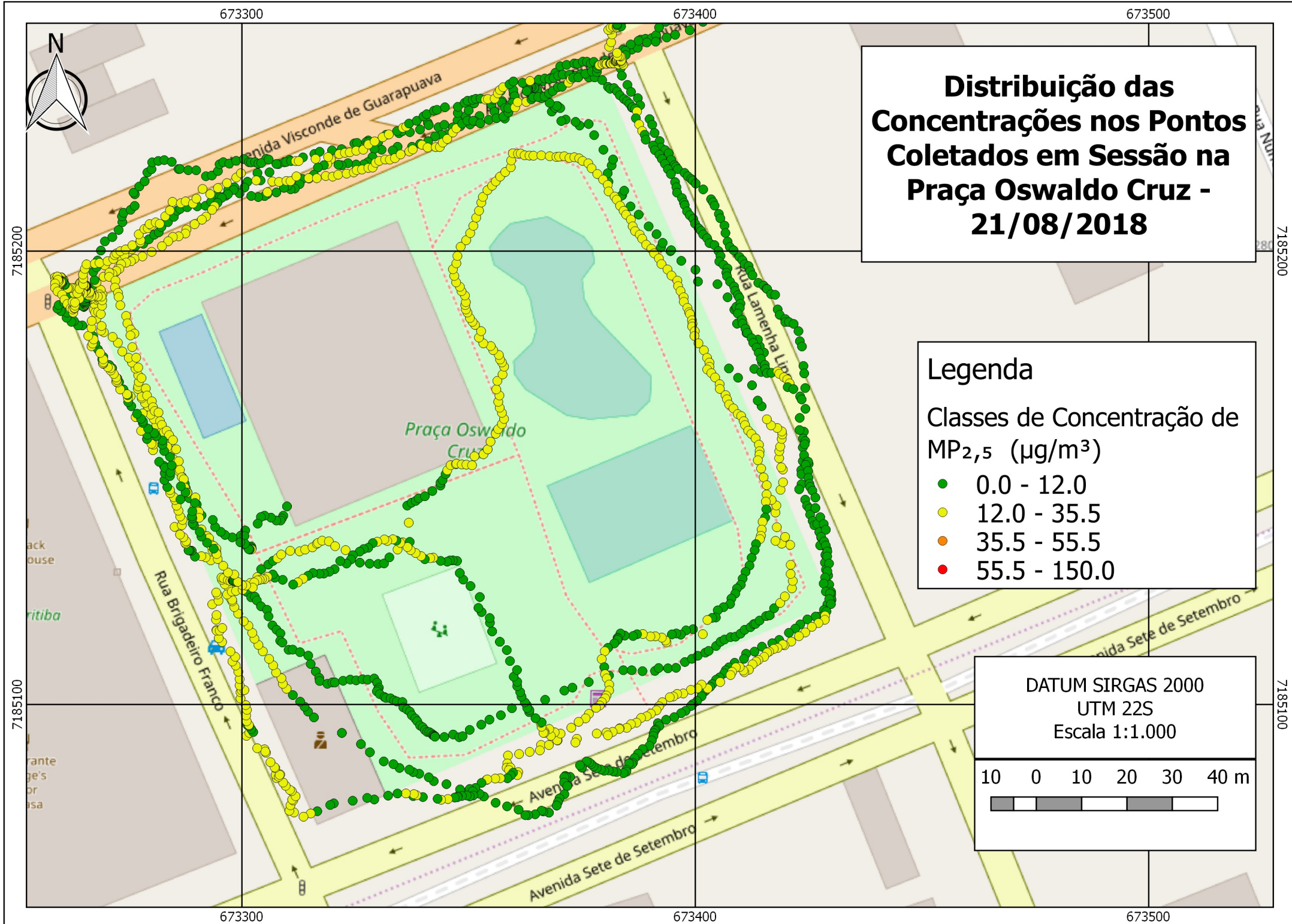
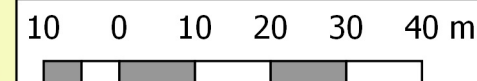
Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão na Praça Oswaldo Cruz - 21/08/2018

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} (µg/m³)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000





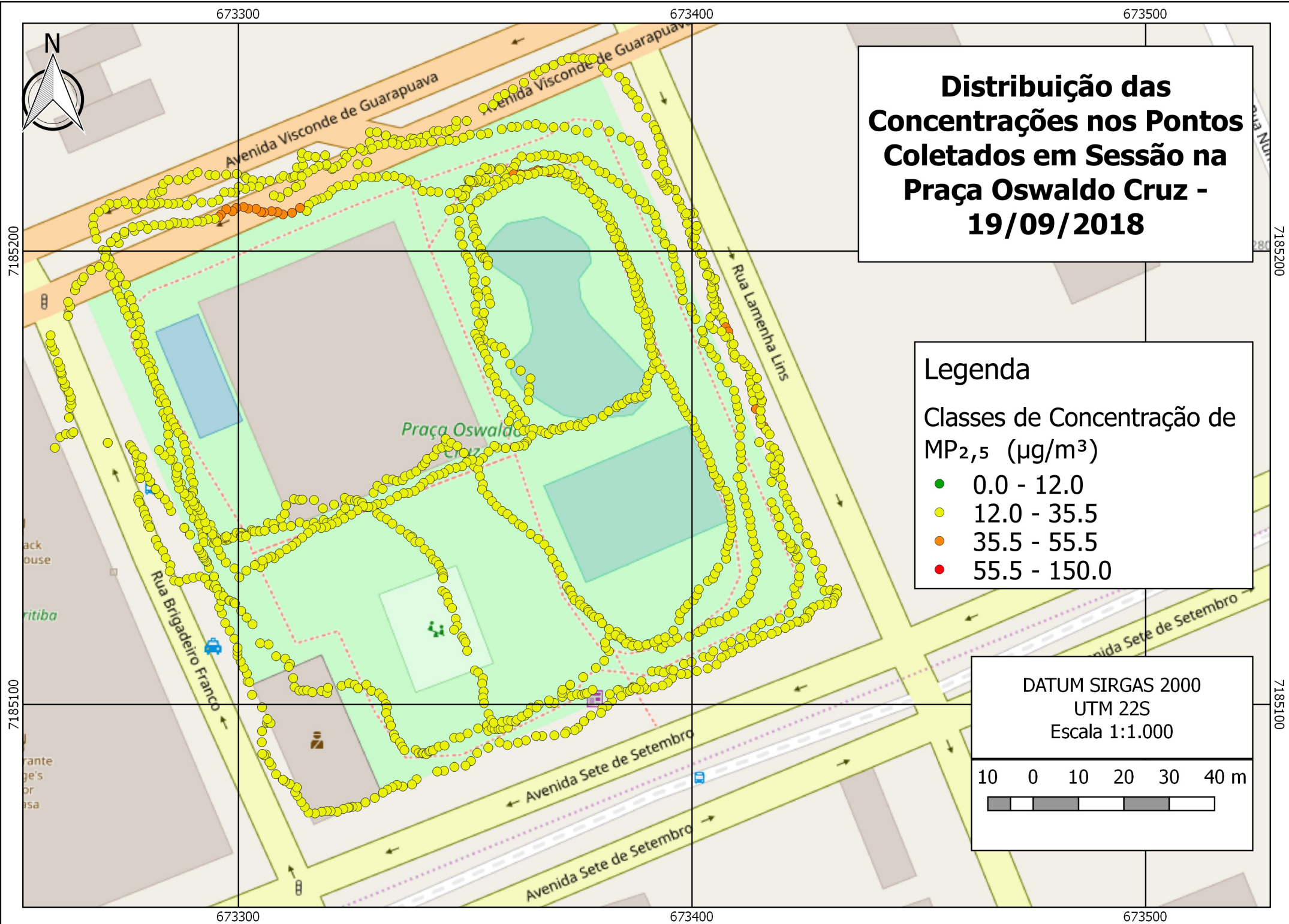
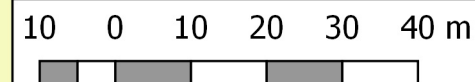
Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão na Praça Oswaldo Cruz - 19/09/2018

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} (µg/m³)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000





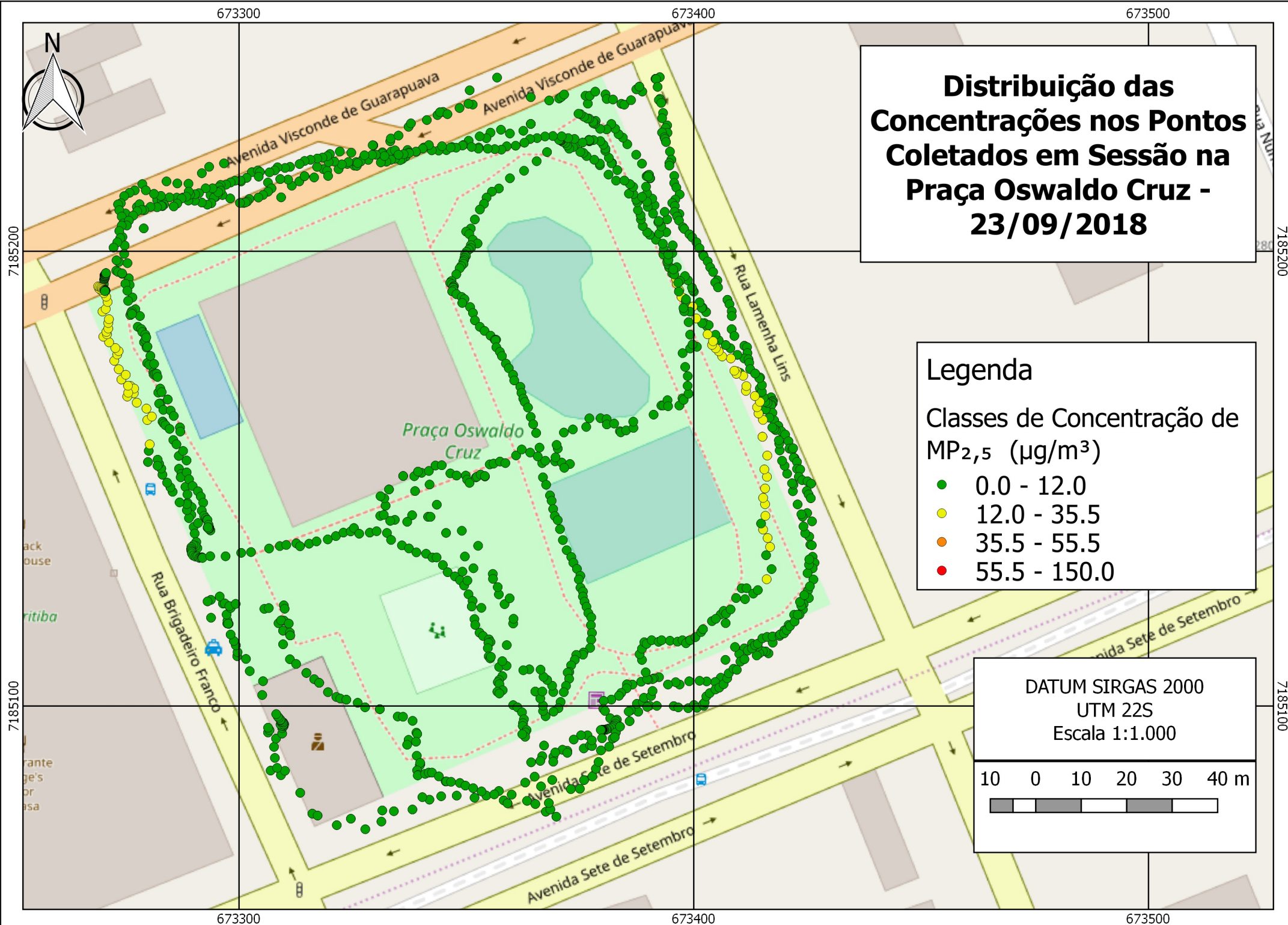
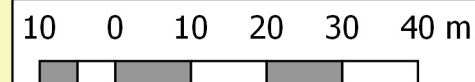
Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão na Praça Oswaldo Cruz - 23/09/2018

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} (µg/m³)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000





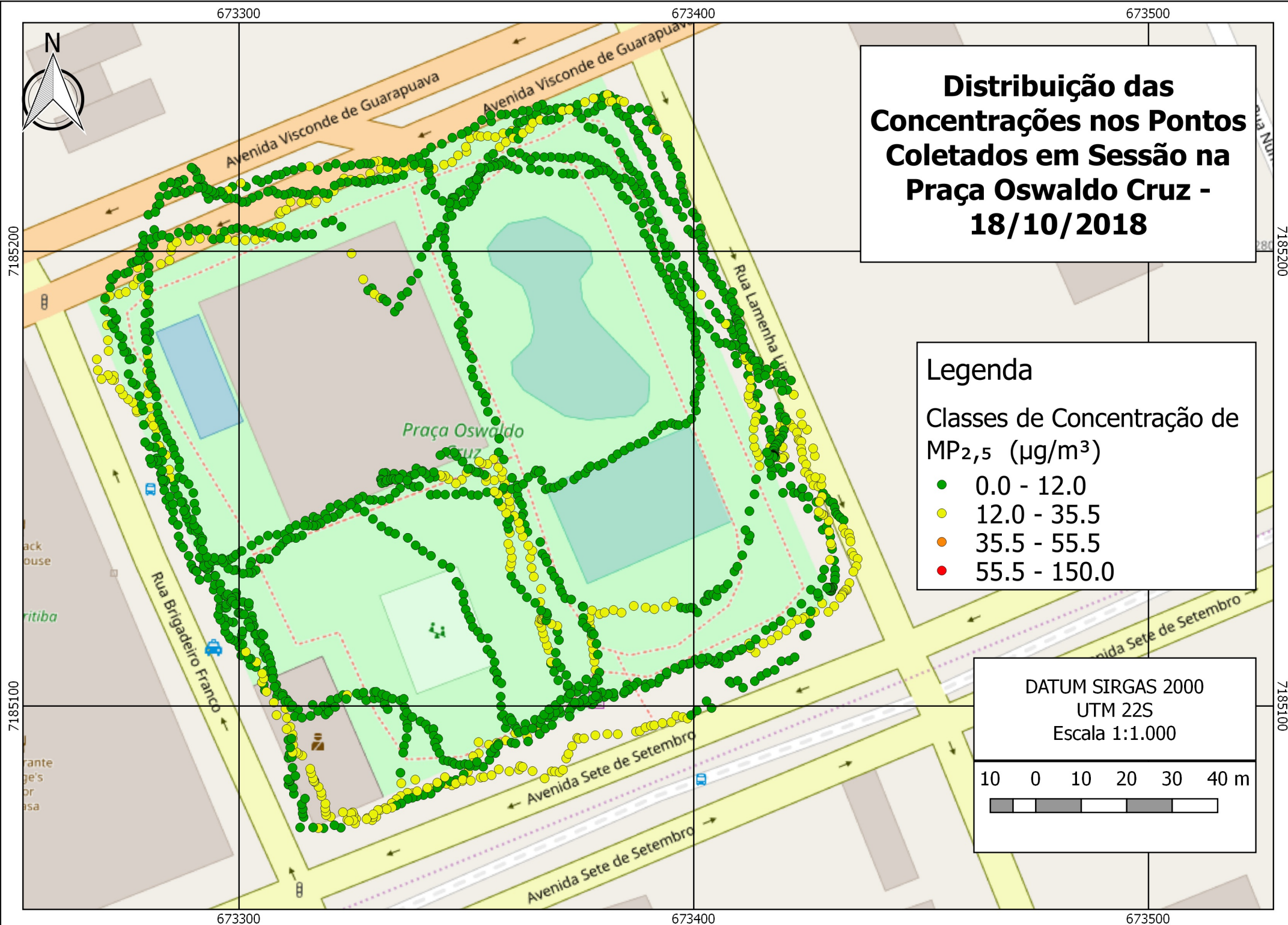
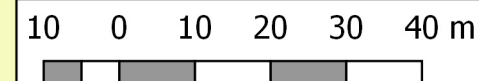
Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão na Praça Oswaldo Cruz - 18/10/2018

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} (µg/m³)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000





Distribuição das Concentrações nos Pontos Coletados em Sessão na Praça Oswaldo Cruz - 20/10/2018

Legenda

Classes de Concentração de
MP_{2,5} (µg/m³)

- 0.0 - 12.0
- 12.0 - 35.5
- 35.5 - 55.5
- 55.5 - 150.0

DATUM SIRGAS 2000
UTM 22S
Escala 1:1.000

