
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA/CIÊNCIAS
DA SAÚDE
DOUTORADO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE MP 2.5 EM MICROAMBIENTES: UM ALERTA
PARA A CIDADE DE PORTO ALEGRE, RS.**

Michele dos Santos
Gomes da Rosa

Tese de Doutorado apresentada à
Faculdade de Medicina da PUCRS para
obtenção do título de Doutor em Ciências da
Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Herbert Jones

Porto Alegre
2015

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

--

DOUTORANDA: Michele dos Santos Gomes da Rosa

ENDEREÇO: Rua João Paulo II, 125 – Canoas – Rio Grande do Sul –

CEP 92134070

e-mail: milkasg@gmail.com

TELEFONE: (051) 9267-3016

Dedicatória

Ao meu amado esposo

Maurício Machado da Rosa, pelo carinho e incentivo constantes.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais, que me impulsionaram a tornar o sonho real.

Aos meus pais Carlos Alberto Moura Gomes e Eliane Gomes, que sempre primaram por minha educação, esta conquista é para vocês.

Meu infinito agradecimento ao meu esposo, Maurício Machado da Rosa, por ser meu porto seguro, meu amigo, que faz suas as minhas batalhas. Meu eterno reconhecimento.

Aos meus colegas e amigos do Instituto de Pesquisas Biomédicas e do Centro de Pesquisa em Microgravidade, pela colaboração e momentos de descontração, muito obrigada.

À querida amiga Morgana Fernandes, pela atenção, carinho, disponibilidade, paciência e principalmente pelo sorriso e incentivo constante.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcus Jones, pela atenção, apoio, principalmente durante o processo de definição do projeto e orientação, pela confiança ao aceitar-me como orientanda. Foi um privilégio poder conviver com um profissional tão singular, generoso, ético, dedicado e eficiente. Um grande Mentor a ser seguido como modelo.

A Profa. Dra. Thais Russomano, que me proporcionou a experiência de atuar como pesquisadora junto a um Centro de Pesquisa de excelência de reconhecimento internacional, pelo apoio, pela confiança, por acreditar, obrigado minha grande amiga.

Aos meus colegas de jornada Daniela e Ana que estiveram presentes em momentos diferentes desta jornada, mas de essencial contribuição.

O meu profundo e sincero agradecimento a todos que contribuíram para a concretização desta tese.

Grandes feitos são realizados por pessoas especiais, chamados de amigos!

RESUMO

Objetivo: Avaliar a concentração de MP 2.5 em nove microambientes na cidade de Porto Alegre-RS.

Materiais e métodos: Foram incluídas nove escolas públicas de ensino fundamental da cidade de Porto Alegre-RS, que foram georreferenciadas e demarcadas três rotas para realizar a coleta de material particulado em dois turnos em quatro estações do ano.

Resultados: Foram avaliadas concentrações de material particulado de 2.5 micrometros em movimento, em três rotas de nove microambientes em quatro estações climáticas, e também dois pontos fixos no interior de salas de aula. As concentrações de pico de material particulado foram realizadas em momento de criticidade de aumento de deslocamento em que as crianças ficam expostas ao se deslocarem para escola. Os valores de pico no nove microambientes diferenciaram-se entre si e mantiveram-se elevados em três estações climáticas diferenciando-se no outono.

Conclusão: Os resultados do presente estudo demonstram achados similares nas concentrações de pico de material particulado de 2.5 nos nove microambientes indoor e outdoor.

Palavras-chave: doenças respiratórias, poluição do ar, material particulado 2.5, ambientes *indoor* e *outdoor*.

ABSTRACT

Objective: To describe the levels of pollution in public schools from the city of Porto Alegre.

Methods: Thus, the aim of this work was to investigate the relationship between weather conditions and air quality of some public schools in Porto Alegre. Indoor and outdoor particulate matter concentrations were measured and analysed throughout the four seasons. Mobile devices were used to measure particulate matter concentrations in nine microenvironments near schools and in the routes used by students. Temperature, humidity and wind were also measured.

Results: The particulate matter concentrations in the nine microenvironments were similar and mostly higher than the tolerated level recommended by the World Health Organization (WHO).

Conclusion: It was observed that only in the autumn season the particulate matter concentrations remained close to the exposure levels recommended by WHO for 24 hours.

Keywords: *respiratory, air pollution, particulate matter 2.5, indoor and outdoor.*

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	14
Figura 1 - Tamanho relativo do material particulado.	19
Figura 2 – Imagem de uma das seis unidades de monitoração da qualidade do ar FEPAM.	25
Figura 3 – Imagem da Unidade de monitoração da qualidade do ar FEPAM no Bairro Humaitá.....	26
Figura 4 – Diagrama em Blocos com Efeitos à Saúde, Partículas Aerodispersas e População adaptado de: WHO, 1999	28
Figura 5 – Efeito do MP nas Vias Aéreas Superiores.	29
CAPÍTULO II	36
Figura 1: Localização do Município de Porto Alegre em Relação ao Estado do Rio Grande do Sul	37
Figura 2 – Gerorreferenciamento da escola e definição de rotas de acordo com a maior probabilidade de ser percorrido por escolares caminhando até a escola.	41
Figura 3 - Equipamento <i>Dust Track</i> TM II aerossol Monitor modelo 8532.....	42
Figura 4 - Termo Anemômetro Digital MDA-II com função auto Power Off, medida de deslocamento de vento e temperatura.	43
Figura 5 – Termo-Higrômetro-Relógio da marca Minipa, modelo MT-241 Digital	44
Figura 6 - Fluxograma da estratégia adotada para coleta das concentrações de material particulado e condições climáticas nos microambientes.....	47
Figura 7 – Sequencias de ações para coleta dos dados. Frente escola (A), coleta pontual (B), em deslocamento no período em que os escolares caminhavam para a escola (C), disposição dos materiais durante as coletas indoor em sala de aula (D).	48
CAPÍTULO III	50
CAPÍTULO IV	63
ANEXOS	65

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I.....	14
Tabela 1 - Escala de Poluentes do ar e seus limites de acordo com OMS	20
Tabela 2 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar da CONAMA	22
Tabela 3 – Classificação do Índice de Qualidade do AR (IQAr) da CONAMA	23
CAPÍTULO II.....	36
Tabela 1: Localização geográfica de Porto Alegre e das nove escolas como microrregiões de amostragem utilizadas no estudo.	39
CAPÍTULO III.....	50
Table 2 – Temperature, humidity and wind speed by Microenvironment and Season of the year	56
Table 3 – Indoor and Outdoor Particulate Matter expressed in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Seasons by Microenvironments	57
Table 4 – Pearson Correlation Coefficient between Variables by Seasons	58
Table 5 – Weighting values considered to estimate the AQI which a schoolchild is exposed.	58
Table 6 – AQI in the Microenvironment by the Seasons	59
CAPÍTULO IV	63
ANEXOS	65

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
AEROMOD	<i>American Meteorology Society- Environmental Protection Agency- Regulatory Model</i>
AQI	<i>Air Quality Index</i> (Índice de qualidade do Ar)
CO	Monóxido de Carbono
CONOMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
EC	<i>Elemental Carbon</i>
EPA	Environmental Protection Agency
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
HSL- PUCRS	Hospital São Lucas da PUCRS
IBAMA	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPB	Instituto de Pesquisas Biomédicas
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos naturais Renováveis
Max	Máximo
m.d	Média diária
m.a	Média Anual
Min	Minimo
MP	Material Particulado
MP_{0,1}	Material Particulado ≤ 0,1µm ou 1 nm
MP₁₀	Material Particulado ≤ 10µm
MP_{2,5}	Material Particulado ≤ 2,5µm

NO	Monóxido de Carbono
NO₂	Dióxido de Carbono
NO_x	Óxido de nitrogênio
O³	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PM_{0,1}	Material Particulado ≤ 0,1µm ou 1 nm
PM₁₀	Material Particulado ≤ 10µm
PM_{2,5}	Material Particulado ≤ 2,5µm
ppm	Partes por um milhão
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
R1	Rota 1
R2	Rota 2
R3	Rota 3
PR1	Ponto de amostragem fixa da Rota 1
PR2	Ponto de amostragem fixa da Rota 2
PR3	Ponto de amostragem fixa da Rota 3
SalaPorta	Porta da sala de aula, medição <i>indoor</i>
SalaJanela	Janela da sala de aula, medição <i>indoor</i>
SMAM	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SO₂	Dióxido de Enxofre
µg/m³	Micrograma por metro cúbico
µm	Micrometros
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS.....	10
SUMÁRIO.....	12
CAPÍTULO I.....	14
1.1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1.1. Contextualização.....	16
1.1.2. Poluentes Atmosféricos.....	17
1.1.3. Material Particulado 2,5 (MP2,5).....	19
1.1.4. Dispersão de Material Particulado (MP).....	20
1.1.5. Limites de Exposição ao MP.....	21
1.1.6. Panorama da Poluição Atmosférica em Porto Alegre.....	24
1.1.7. Efeitos da Poluição Atmosférica Na Saúde Humana.....	26
1.1.8. No Trato Respiratório.....	27
1.2 JUSTIFICATIVA.....	31
1.3 OBJETIVOS.....	34
1.3.1. Objetivo geral.....	34
1.3.2. Objetivos secundários.....	34
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
CAPÍTULO II.....	36
2.1 Desenho do Estudo.....	37
2.1.1. DEFINIÇÃO DAS ESCOLAS.....	38
2.1.2. Definição das Rotas.....	40
2.1.3. Equipamentos.....	42
2.1.4. Pontos de Amostragem.....	45
2.1.5. Avaliações em Movimento.....	45
2.1.6. Replicações dos dados.....	48
2.1.7. Definição da coleta:.....	48
2.1.8. Análise Estatística.....	49
CAPÍTULO III.....	50
3.1 ARTIGO ORIGINAL.....	51
Abstract.....	52

	13
Keywords	52
1. Introduction	52
2. Materials and methods.....	53
2.1. Experimental Design	53
2.2. Equipment.....	53
2.3. Moving Measurements Simulating Schoolchild Walk.....	54
3. Results and Discussion	54
4. Conclusions.....	60
Acknowledgements	60
References.....	60
CAPÍTULO IV	63
4.1 CONCLUSÕES	64
ANEXOS.....	65

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

A exposição à poluição atmosférica constitui-se como um dos principais fatores que contribuem negativamente para saúde respiratória, principalmente em crianças e idosos, sendo esta poluição mais acentuada em áreas urbanas e grandes centros. (GEMUS, 2012)

O desenvolvimento do sistema respiratório é alterado devido à prematuridade e também pelos eventos que a provocam e as Pesquisas realizadas nos últimos anos indicam sua influência negativa e grave sobre a saúde mesmo quando os poluentes se encontram dentro dos padrões de segurança preconizados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), podendo desta forma contribuir para morbidade e mortalidade (ORGANIZATION, 1987) (ORGANIZATION., 2005)

Diversos mecanismos têm sido sugeridos para explicar os efeitos adversos dos poluentes aéreos, o mais difundido é a de que altas concentrações de oxidantes e pró-oxidantes presentes nos poluentes ambientais como o material particulado e nos gases, como O₃ óxidos de nitrogênio, em contato com o epitélio respiratório, provocam a formação de radicais livres de oxigênio e de nitrogênio, ocasionando estresse oxidativo nas vias aéreas. (BOTELHO C, CORREIA AL, SILVA AMC, ET AL, 2003)

Esse processo desencadeia liberação de células e mediadores inflamatórios

(citocinas, quimiocinas e moléculas de adesão) que atingem a circulação sistêmica, levando a uma inflamação subclínica com repercussão tanto no sistema respiratório como também causando efeitos sistêmicos. (SALVI S. , 2007)

Diante disso, os estudos de séries temporais têm sido utilizados para subsidiar os argumentos para redução dos limites de exposição bem como para mostrar os impactos na saúde, no Município de Porto Alegre.

Dentro desse contexto, se percebe a imediata necessidade de mensurar os níveis de material particulado de 2.5 micrometros presentes no ar, a fim de estabelecer políticas públicas em prol da redução da exposição principalmente das crianças, visto sua vulnerabilidade acentuada quando expostas.

Desta forma, o presente estudo almejou mensurar e analisar as concentrações de material particulado de 2.5 micrometros, em microambientes da região urbana junto a escolas de ensino fundamental localizadas na cidade de Porto Alegre e, posteriormente a verificação das medidas *indoor* e *outdoor* da concentração do material particulado 2,5 μ m, bem como sua relação com as condições climáticas nas quatro estações do ano.

1.1.1. **Contextualização**

O processo de industrialização a partir dos anos cinquenta no Brasil contribuiu para que a poluição atmosférica começasse a ser considerada um dos principais problemas das regiões urbanizadas e industrializadas, visto sua forte degradação ambiental (7).

Aliado a isso, o aumento do poder aquisitivo das pessoas na última década colaborou para o aumento da frota veicular que é considerada a maior emissora de

partículas inaláveis nos ambientes urbanos(8). Dados do Departamento Nacional de Trânsito apontam que a frota de veículos automotores foi de 813.961 de um total de 3.771.395 em todo Rio Grande do Sul, sendo que em Porto Alegre a frota de veículos particulares cresceu 67% na última década na Capital (9). A maior fonte de material particulado é a combustão e a frenagem e combustão oriundas do atrito dos pneus no asfalto (10, 11).

De forma negativa atualmente Porto Alegre está entre as cidades com maior nível de poluição atmosférica (12).

Indivíduos, principalmente crianças, quando expostos a curtos períodos de concentrações elevadas de poluentes (exposição aguda), podemos observar efeitos como simples desconforto, mal estar, dores de cabeça, dificuldades de respirar. Recentemente a *European Respiratory Review*, publicou um estudo que demonstra que a poluição atmosférica pode ser o agente causal de asma em crianças que residem próximo de vias de grande intensidade de tráfego (13-16).

1.1.2. Poluentes Atmosféricos

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados quanto à maneira de emissão, origem e quanto ao tipo, conforme descrito abaixo:

Quanto à maneira de emissão: os poluentes podem ser primários (emitidos diretamente na atmosfera como CO e SO₂) e secundários (formados após a reação dos poluentes primários) (17).

Quanto à origem de emissão: podem ser internos (oriundos da combustão da madeira, da atividade culinária, da construção civil e organismos em geral, fazendo parte deste grupo os óxidos de carbono, hidrocarbonetos e poeiras orgânicas) e

externos (originados de fontes industriais, urbanas ou agrícolas, sendo inclusos nesse grupo os sulfurados, óxidos de nitrogênio, material particulado e benzeno) (18).

Quanto ao tipo: poluentes gasosos como benzeno, sulfurados e hidrocarbonetos de cadeia curta e poluentes particulados como MP10 (considerado partículas grossas), MP2,5 (particulados finas) e MP0,1 (partículas ultrafinas) (17).

Definição Conceitual e Classificação do Material Particulado

Denomina-se material particulado um conjunto de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho. É o tipo de poluente mais estudado e é considerado um dos principais poluentes da atmosfera (19). O material particulado pode ser classificado de acordo com seu tamanho de partículas totais em suspensão: partículas com até 30 μm de diâmetro; partículas com diâmetro inferior a 10 μm de diâmetro (MP10 ou fração inalável); partículas com diâmetro inferior a 2,5 μm de diâmetro (MP2,5 ou fina); e partículas com diâmetro menor de 10nm (MP0,1 ou ultrafina) (23, 24) (25).

Aerossóis atmosféricos são suspensões de partículas sólidas e/ou líquidas no ar que tem velocidade terminal desprezível. O tamanho do aerossol, é medido em unidades de micrometros (μm), possui um diâmetro menor do que 2,5 μm .

Na Figura 1 estão ilustrados, em um tamanho relativo a um fio de cabelo humano, grãos finos de areia de praia e partículas de 10 e 2,5 micrometros de material particulado, demonstrando a dimensão do objeto deste estudo.

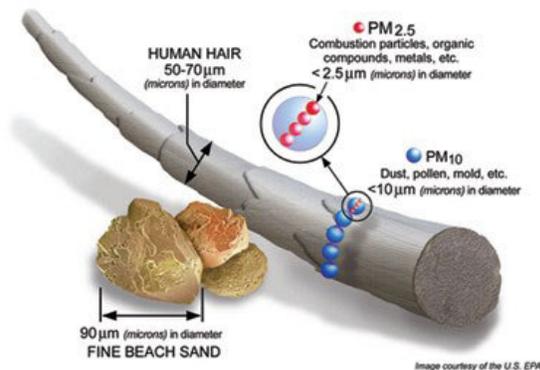


Figura 1 - Tamanho relativo do material particulado.

Fonte: <http://www.epa.gov/air/particlepollution/basic.html> EPA, 2010

1.1.3. Material Particulado 2,5 (MP2,5)

O material particulado MP2,5 é formado da reação química, nucleação, condensação, coagulação de nevoeiro, permanecendo suspenso na atmosfera dias ou semanas (26).

No Brasil com intuito de monitorar os níveis de MP surgiram medidas preventivas através da portaria 348 de 14/03/1990 e da resolução 003 CONAMA de 28/06/1990, estabelece padrões para MP10. Entretanto esta norma não contempla a concentração de partículas de 2,5 ou menores, por isso necessita revisão e atualização.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), Estados Unidos e União Europeia adotam normas mais restritivas em relação ao MP2,5, sendo que o Brasil, não

possui nenhuma norma que contemple os níveis de concentração de MP2,5, apenas para MP10 (27).

No caso do Material Particulado MP10 (padrão secundário), são aceitáveis à saúde humana concentrações médias de até 150 microgramas por metro cúbico, considerando-se uma média de exposição diária e de até 50 microgramas por metro cúbico para a média de exposição anual (28,29).

A tabela 1 demonstra os níveis de concentração de poluentes atmosféricos aceitáveis para a saúde humana.

Tabela 1 - Escala de Poluentes do ar e seus limites de acordo com OMS

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3- Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4- Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5- Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: <http://www.mma.gov.br/Conama/res90>

1.1.4. Dispersão de Material Particulado (MP)

O material particulado lançado na atmosfera sofre modificações em suas concentrações no tempo e espaço, ou seja, a mesma emissão de material particulado, sob as mesmas condições, pode produzir concentrações diferentes num mesmo local, dependendo das condições climáticas presentes (30).

O aumento da temperatura, velocidade e direção do vento, o volume de tráfego horário de cada via e a umidade relativa do ar, são aspectos que podem contribuir para o aumento da concentração ou dispersão de material particulado 2,5.

Em áreas urbanas alguns efeitos da exposição a poluentes atmosféricos são potencializados, principalmente em inversões térmicas (31), visto que nesta situação, o ar mais quente acima da camada de frio gerando uma barreira para circulação do ar, fazendo com que aumente a concentração dos poluentes atmosféricos (32).

1.1.5. Limites de Exposição ao MP

Visando proteger a saúde dos seres vivos e o meio ambiente, o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera é definido pelos os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar estabelecidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e aprovados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução CONAMA 03/1990.

Os estudos de séries temporais têm sido utilizados para subsidiar os argumentos para redução dos limites de exposição ou para mostrar impactos na saúde com níveis de poluição bem abaixo dos limites, na tabela 02 estão demonstrados estes limites preconizados pela Resolução N3/90 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), onde os símbolos m.d, m.a, MP10 e SO₂, representam média diária, média anual, material particulado de tamanho inferior a 10 micrômetros, e Dióxido de Enxofre, respectivamente (34).

Somado a isso o vento também possui uma grande importância quanto a dispersão de poluentes, sendo que a taxa de concentração é inversamente proporcional à velocidade dos ventos nos poluentes. É importante ressaltar a

existência de tipos diversos de ventos de cada região sendo um fator determinante em relação à direção que as partículas assumem (33).

Quanto mais estável é a condição atmosférica, menor será a diluição e o transporte de poluentes, contribuindo assim para aumentar a poluição em lugares específicos. A topografia também é importante na análise da dispersão dos poluentes (34).

Tabela 2 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar da CONAMA

Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Resolução CONAMA 03 de 28/05/90			
Poluente	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tempo para amostra
PM ₁₀	150 m.d 50 m.a	150 m.d 50 m.a	24 horas anual
SO ₂	365 m.d 80 m.a	100 m.d 40 m.a	24 horas anual

PM10 - Material Particulado ≥ 10 micrômetros. SO₂ - Dióxido de Enxofre. m.d - Média Diária. m.a- média anual.

Fonte: (35)

Consoante com os padrões nacionais de qualidade do ar foram classificados, pelo CONAMA, diferentes níveis para representação da qualidade do ar, níveis estes dispostos na tabela 3, onde estão especificados os limites de cada (35).

Tabela 3 – Classificação do Índice de Qualidade do AR (IQAr) da CONAMA.

ÍNDICE DA QUALIDADE DO AR (IQAr)								
Qualidade	Índice	Níveis de Cautela sobre a Saúde	PTS (µg/m ³)	PI10 (µg/m ³)	S02 (µg/m ³)	NO2 (µg/m ³)	CO (ppm)	O3 (µg/m ³)
 Boa	0-50	Seguro à Saúde	0-80	0-50	0-80	0-100	0-4,5	0-80
 Regular	51-100	Tolerável	81-240	51-150	81-365	101-320	4,6-9,0	81-160
 Inadequada	101-199	Insalubre para Grupos Sensíveis	241-374	151-249	366-799	321-1129	9,1-14,9	161-399
 Má	200-299	Muito Insalubre (Nível de Atenção)	375-624	250-419	800-1599	1130-2259	15,0-29,9	400-799
 Péssima	300-399	Perigoso (Nível de Alerta)	625-874	420-499	1600-2099	2260-2999	30,0-39,9	800-999
 Crítica	400 ou maior	Muito Perigoso (Nível de Emergência)	≥ 875	≥ 500	≥ 2100	≥ 3000	≥ 40	≥ 1000

Os índices, até a classificação REGULAR, atendem aos Padrões de Qualidade do Ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 03 de 28/06/1990.

PTS – Partículas Totais Suspensas. PI10 –Partículas Inaláveis. SO₂ Dióxido de Enxofre. NO₂ – Óxido Nítrico. CO- Monóxido de Carbono. O₃ – Ozônio. ppm – partículas por milhão. Fonte: [http://: www.fepam.rs.gov.br](http://www.fepam.rs.gov.br)

O Índice de Qualidade do Ar (IQAr), tem como objetivo principal proporcionar à população o entendimento sobre qualidade do ar local, e relação a diversos poluentes atmosféricos amostrados nas estações de monitoramento. O IQAr é divulgado através de um boletim da qualidade do ar para cada estação de monitoramento. É uma ferramenta matemática utilizada para transformar as concentrações medidas dos diversos poluentes em um único valor dimensional que possibilita a comparação com os limites legais de concentração para os diversos poluentes (padrões de Qualidade do Ar- PQAr) (35).

Com o monitoramento da qualidade do ar pode-se constatar a evolução das concentrações dos poluentes na atmosfera e aferir a eficácia dos processos de controle de emissões pelo CETESB, onde os principais objetivos são de fornecerem dados para ativar ações de emergência durante os períodos de estagnação atmosférica quando os níveis de poluentes possam representar risco à saúde (36).

No caso do material particulado fino (MP_{2,5}), em que não há o conhecimento sobre os limiares para que se observe os efeitos sobre a saúde, a seleção de um padrão de qualidade do ar requer que o regulador determine o risco aceitável. Sendo assim os padrões Internacionais de níveis de concentrações de poluentes atmosféricos determinados pela Organização mundial da saúde(37), e fiscalizados pela monitorados pela EPA- *United States Environmental Protection Agency*, devem ser adotados (38).

Sendo assim os aspectos que regulam a avaliação do que é um nível aceitável ou de risco na gestão da poluição do ar devem determinar as características quantificadas do risco, para relacionarmos com as relações de exposição e resposta aos poluentes (39).

1.1.6. **Panorama da Poluição Atmosférica em Porto Alegre**

Em Porto Alegre, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), realiza o monitoramento da qualidade do ar, por meio de estações fixas, desde 2001 (38).

Estudo realizado na Universidade de São Paulo (USP) analisou o poluente material particulado de 2,5 micrômetros oriundo da mistura de poeiras e fumaça, e mostrou que Porto Alegre tem poluição acima do limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde, sendo a principal emissão destes poluentes os veículos automotores (poluição relacionada à queima de combustível, à pavimentação e ao atrito do pneu no asfalto) na cidade de Porto Alegre (40).

Tal fato é referenciado por informações disponíveis no Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN) até abril de 2014 a frota veicular de Porto Alegre era de 709.038 veículos em 2015 a frota elevou-se para 813.961. O que contribui

consideravelmente para acúmulo de concentrações de material particulado de 2,5micrometros, e negativamente para questões de saúde respiratória dos gaúchos (41).

Em relação ao monitoramento do ar na cidade de Porto Alegre, (10)atualmente a Secretaria Municipal do Meio Ambiente conta três estações de monitoramento de ar. Uma localizada no centro da cidade, outra no Bairro Azenha e a terceira e mais moderna no Bairro Humaitá (figura 3). Todas tem a capacidade de mensurar o nível de material particulado através de um analisador que tem como princípio a atenuação da radiação beta, modelo SM 200 da marca *Opsis*. Entretanto, todas estão em manutenção devido à falta de peças de reposição desde 2010, não realizando o monitoramento da qualidade do ar da cidade de Porto Alegre (42, 43).



Figura 2 – Imagem de uma das seis unidades de monitoração da qualidade do ar FEPAM.
Fonte: <http://goo.gl/YZtBhA> Correio do Povo 05 Mar 2015.



Figura 3 – Imagem da Unidade de monitoração da qualidade do ar FEPAM no Bairro Humaitá.

Fonte: <https://goo.gl/m9xeFQ> Google StreetView Abr 2014.

1.1.7. Efeitos da Poluição Atmosférica Na Saúde Humana

Os efeitos do material particulado de 2,5 micrometros na saúde humana, agem negativamente principalmente no trato respiratório e sistema cardiovascular. Além disso, o MP 2,5 pode afetar também os demais sistemas, com danos renais, neurológicos, oftálmicos, gastrointestinais, além de doenças dermatológicas e alterações cromossômicas (44).

1.1.8. No Trato Respiratório

A importância de estudar os efeitos de material particulado, de 2.5 micrômetros, na saúde respiratória deve-se pela deposição do mesmo nas vias aéreas inferiores do pulmão, (45)causando desta forma o aumento na incidência nas doenças pulmonares, das taxas e do tempo de internação, assim como atendimentos em emergências (46).

Os impactos sobre a saúde respiratória são maiores em crianças, pois elas respiram volumes proporcionalmente maiores que os adultos, os pulmões ainda estão em desenvolvimento e os sistemas de desintoxicação de radicais livres nocivos ainda são imaturos nessa faixa etária (47, 48).

Células nervosas das vias respiratórias podem contribuir para inflamação, sistematizando neurotransmissores (49). Uma das possíveis consequências dos danos causados pelos materiais particulados nas vias respiratórias é o aumento da suscetibilidade às infecções respiratórias (50). A segunda possibilidade é que ocorra a diminuição da função pulmonar, em indivíduos com histórico de doenças crônicas respiratórias como a asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). Sintomas da asma, por exemplo, são exacerbados quando expostos a altas concentrações de material particulado (51).

Estudos recentes têm sugerido que a inalação às partículas tem efeitos inflamatórios sistêmicos após horas da exposição (52, 53).

A avaliação dos efeitos à saúde provocados pelo material particulado é

considerada um desafio para a ciência. As razões que determinam as dificuldades em se estabelecer esta variação da relação de tempo de exposição e a composição química dos aerossóis, além das mudanças nas condições climáticas. Como também pelo fato de coexistirem com outros numerosos poluentes atmosféricos (54). A figura 4 apresenta de forma resumida, segundo a OMS dos aspectos relevantes mencionados em estudos anteriores, que relacionaram partículas aerodispersas, população e os efeitos ocasionados pela exposição.

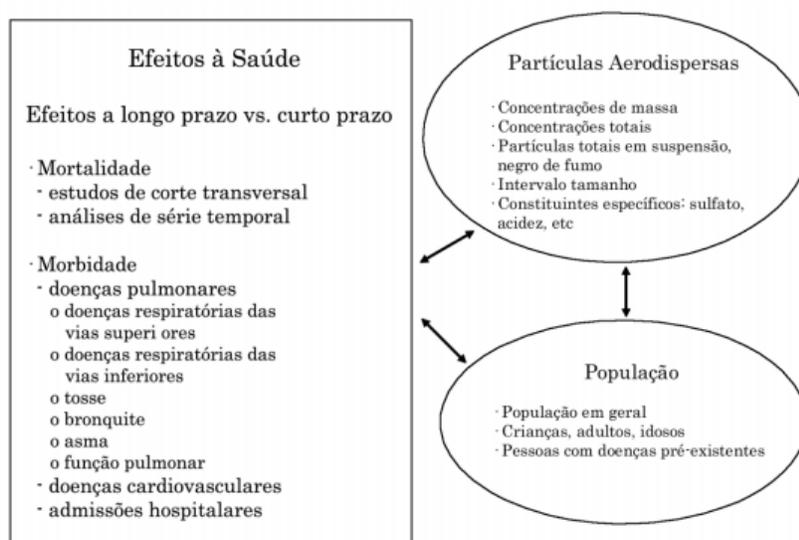


Figura 4 – Diagrama em Blocos com Efeitos à Saúde, Partículas Aerodispersas e População adaptado de: WHO, 1999

Evidências epidemiológicas indicam que atualmente, o material particulado está associado com efeitos adversos à saúde de crianças (55), destacando-se dentre estes: redução da função pulmonar; aumento dos sintomas respiratórios em crianças asmáticas e não asmáticas (56, 57); aumento do número de visitas médicas (pneumologistas); aumento do número de visitas (emergências) e admissões hospitalares, além do aumento da mortalidade e morbidade (58).

Exposições a longo prazo podem ocasionar aumento dos sintomas respiratórios, aumento da mortalidade infantil, redução do crescimento intrauterino e aumento do número de partos prematuros (56, 59).

Diante do que foi citado anteriormente, do $PM_{2.5}$ na saúde respiratória, visto que, conforme imagem abaixo esta causa uma resposta inflamatória no aparelho respiratório, induzida pela ação de substâncias oxidantes, as quais acarretam aumento da produção, da acidez, da viscosidade e da consistência do muco produzido pelas vias aéreas, levando conseqüentemente à diminuição da resposta e/ou eficácia do sistema muco-ciliar, que pode ser visualizado na figura 5 (60).

O projeto APHEA (*Air Pollution and Health: A European Approach*) tem utilizado dados coletados em 29 cidades europeias e na sua fase dois associa efeitos da poluição atmosférica e mortalidade (61).

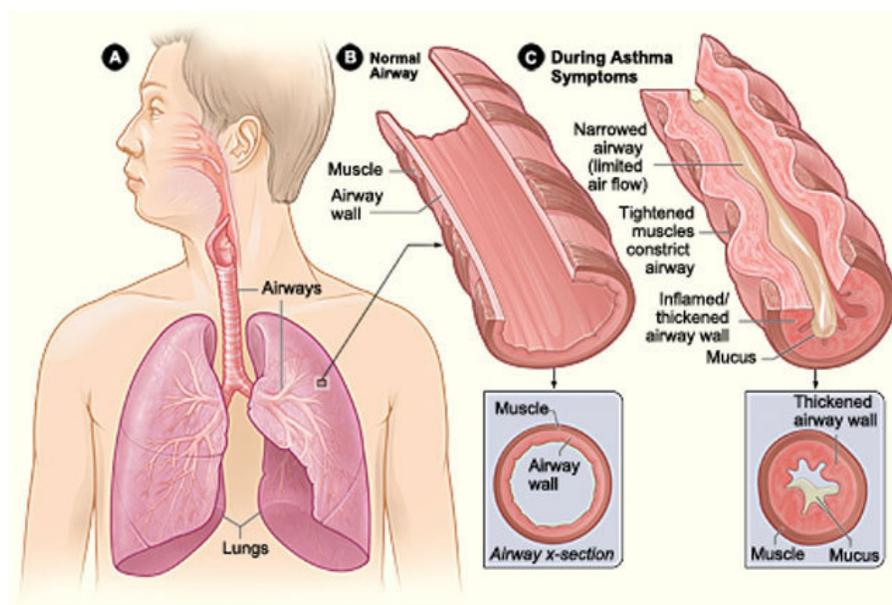


Figure A shows the location of the lungs and airways in the body. Figure B shows a cross-section of a normal airway. Figure C shows a cross-section of an airway during asthma symptoms.

Figure courtesy of U.S. Dept. of Health and Human Services, National Heart, Lung and Blood Institute.

Figura 5 – Efeito do MP nas Vias Aéreas Superiores.

Nos EUA, o National Mortality, Morbidity and Air Pollution Studies (NMMAPS) utilizou dados das vinte maiores regiões metropolitanas, com total de 50 milhões de habitantes, entre 1987 e 1994, onde constataram que o aumento de material particulado no ambiente correlacionava-se com aumento de hospitalizações por queixas respiratórias (62).

Estudos de coorte têm abordado os efeitos crônicos da poluição do ar, produzida pela queima de combustíveis fósseis, na mortalidade e na morbidade. Além disso, estudos transversais têm reportado que exposições crônicas ao material particulado estão relacionadas com condições de saúde de atuais da população (63, 64).

Os efeitos dos poluentes sobre a saúde respiratória podem ser classificados em agudos ou crônicos. Os agudos se manifestam após um curto espaço de tempo entre a exposição e os efeitos (horas ou dias). Os efeitos crônicos são avaliados geralmente em estudos longitudinais com duração de anos ou décadas, conforme estudos mencionados anteriormente (65).

1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo em questão analisa as concentrações de poluição atmosférica em torno de escolas municipais de ensino fundamental da cidade de Porto Alegre. Essa temática tem sua relevância à medida que níveis elevados destes poluentes causam sérias consequências à saúde aos expostos, principalmente ao trato respiratório, conforme a Agência de Proteção Ambiental Americana é importante o monitoramento de partículas menores ou iguais a 10 µm de diâmetro (MP10), também chamadas de partículas inaláveis, baseando-se no fato de que estas são as partículas que podem atingir as vias respiratórias inferiores. (MEDINA-RAMÓN M, ZANOBETTI A, SCHAWARTZ, 2006)

As crianças e os idosos são os dois grupos etários são mais suscetíveis aos efeitos da poluição atmosférica. Demonstrando uma associação com decréscimo da função pulmonar, absenteísmo escolar, decréscimo nas taxas de peak flow em crianças normais e aumento no uso de medicamentos por crianças ou adultos com asma; podem-se observar ainda alterações no sistema imunológico de pessoas normais, com redução do “*clearance*” mucociliar. (MEDINA-RAMÓN M, ZANOBETTI A, SCHAWARTZ, 2006) Estudos mais recentes demonstram efeitos graves sobre a saúde mesmo quando os poluentes se encontram dentro dos padrões de segurança. (AMATO F, RIVAS I, VIANA M, MORENO T, BOUSO L, RESCHE C, ÀLAVREZ M, ALASTUEY, SUNYER J, QUEROL X, 2014) Efeitos da poluição atmosférica têm sido documentados na forma de exacerbações de sintomas respiratórios e cardiovasculares, aumento

das crises de asma e dor precordial, limitação funcional, número de consultas em pronto-socorro e internações hospitalares, sendo que indivíduos expostos a altas concentrações de poluentes atmosféricos possuem maior prevalência de morbidades e mortalidade. (MAESTRELLI P, CANOVA C, SCAPELLATO ML, VISENTIN A, TESSARI R, BARTOLUCCI GB, SIMONATO L, LOTTI M. , 2011) (SALVI S. , 2007)

A mortalidade por patologias do sistema respiratório apresenta uma forte associação com a poluição atmosférica. Servindo como referência para adoção de medidas, sejam elas penalizadoras ou compensatórias. (ROY A, SHEFFIELD P, WONG K, TRASANDE L., 2011) (DHERANI M, 2008)

Os níveis de contaminantes atmosféricos que excedem os valores recomendados, tanto de origem veicular como da ocupação de áreas de produção industrial. Essa exposição as concentrações de material particulado de 2,5 micrometros não estão sendo monitoradas em Porto Alegre. Uma vez que há poucos estudos na literatura mostrando as concentrações de material particulado 2.5 micrômetros dos últimos cinco anos de estações automáticas, em que a cidade de Porto Alegre está exposta vê-se a necessidade de avaliar de forma mais precisa a situação da qualidade do ar de microrregiões da cidade de Porto Alegre. A medição da poluição atmosférica foi realizada por métodos, acurados e em deslocamento para medição de poluentes comuns em centros urbanos. (BRAUER M, HOEK G, SMIT HA, DE JONGSTE JC, GERRITSEN J, POSTMA DS, KERKHOF M, BRUNEKREEF B. , 2007) (MEDINA-RAMÓN M, ZANOBETTI A, SCHAWARTZ, 2006)

Em relação ao método de pesquisa proposto este se caracteriza por uma amostragem em tempo real, demonstrando valores de picos a que a comunidade que habita as nove microrregiões de Porto Alegre está exposta. (EIDT, 2013)

O desenho do estudo constitui-se como uma metodologia de mensuração

da poluição atmosférica, caracteriza-se por ser em movimento, em tempo real, traçando três rotas de maior probabilidade de serem percorridas pelos escolares que se deslocam caminhando à escola. Esses achados podem contribuir para um melhor conhecimento e entendimento sobre o tema, visando informações mais acuradas em longo prazo dessa população.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. **Objetivo geral**

Descrever as concentrações de Material Particulado de 2.5 micrômetro no microambientes da cidade de Porto Alegre, em que escolares estão expostos nas quatro estações do ano.

1.3.2. **Objetivos secundários**

Mensurar a concentração de material particulado que escolares estão expostos ao longo do dia em ambientes *indoor* e *outdoor*.

Avaliar e comparar as concentrações de material particulado em nove microrregiões, nas diferentes condições climáticas das quatro estações do ano, na cidade de Porto Alegre-RS.

Descrever os níveis de concentrações de material particulado nos microambientes, escola até domicilio (*outdoor*), nos quais escolares ficam expostos durante o dia, bem como em frente a escolas e na sala de aula (*indoor*).

Verificar o efeito de barreiras arquitetônicas para concentrações de material particulado, através da mensuração do mesmo *indoor* e *outdoor*.

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO F, RIVAS I, VIANA M, MORENO T, BOUSO L, RESCHE C, ÀLAVREZ M, ALASTUEY, SUNYER J, QUEROL X. Sources of indoor and outdoor Pm 2.5 concentrations in primary schools Science of the Total Environment, 2014.

BOTELHO C, CORREIA AL, SILVA AMC, ET AL. Environmental Factors and Hospitalization of under-five children with acute respiratory infection. **Caderno de Saúde Pública**, 2003.

BRAUER M, HOEK G, SMIT HA, DE JONGSTE JC, GERRITSEN J, POSTMA DS, KERKHOF M, BRUNEKREEF B.. Air pollution and development of asthma, allergy and infections in a birth cohort. **Eur Respir J**, 29(5):879-88., 2007.

DHERANI M, P. D. M. M. S. K. W. M. B. N. Indoor air pollution from unprocessed solid fuel use and pneumonia risk in children aged under five years: a systematic review and meta-analysis. **Bull World Health Organ.**, 2008.

EIDT, C. S. Mapeamento dos níveis de poluição atmosférica em torno de escolas públicas da cidade de Porto Alegre. **Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança-PUCRS**, Porto Alegre, 2013.

GEMUS, S. F. **Meio Ambiente, Saúde e Poluição Atmosférica: enfoque na Rinite Alérgica**. [S.l.]. 2012.

MAESTRELLI P, CANOVA C, SCAPELLATO ML, VISENTIN A, TESSARI R, BARTOLUCCI GB, SIMONATO L, LOTTI M.. Personal exposure to particulate matter is associated with worse health perception in adult asthma. **J Investig Allergol Clin Immunol** , 2011.

MEDINA-RAMÓN M, ZANOBETTI A, SCHAWARTZ. The effect of zone and PM 10 on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: A national multicity study. **Am J Epidemiol**, 2006.

ORGANIZATION, W. H. Air quality guidelines for Europe. **WHO Copenhagen; (regional Publications. European Series, 23)**., 1987.

ORGANIZATION., W. H. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.. **Copenhagen: World Health Organization**, 2005.

ROY A, SHEFFIELD P, WONG K, TRASANDE L. The Effects of Outdoor Air Pollutants on the Costs of Pediatric Asthma Hospitalizations in the United States, 1999 to 2007. **Med Care Epub ahead of print.**, 2011.

SALVI S.. Health effects of ambiente air pollution in children.. **Paediatr Respir Rev.**, 2007.

CAPÍTULO II

2.1 Desenho do Estudo

Esse estudo consiste em delineamento transversal, incluindo nove microrregiões mapeadas e georreferenciadas da cidade de Porto Alegre, RS, constituindo assim as nove microrregiões estudadas nas quatro estações climáticas. A coleta de material particulado foi realizada no município de Porto Alegre, que fica localizado, à leste do Estado do Rio Grande do Sul, sendo banhado a Oeste pelo lago Guaíba, possui uma área de aproximadamente 476,3 Km², como pode ser observado na figura 1.

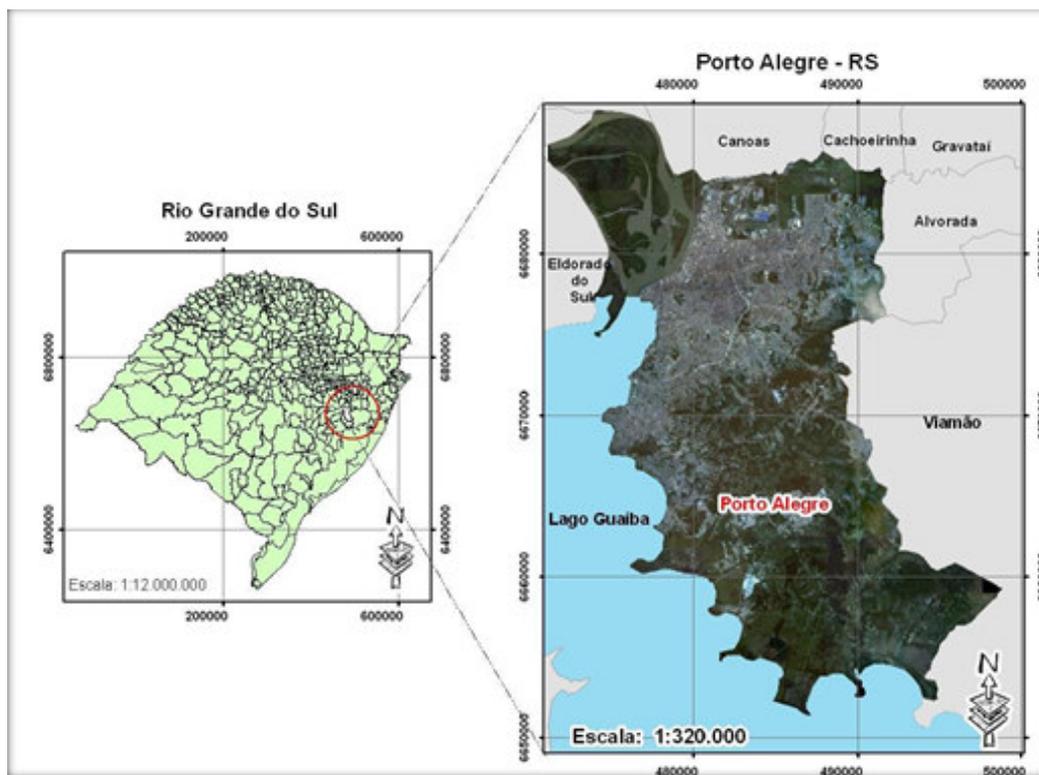


Figura 1: Localização do Município de Porto Alegre em Relação ao Estado do Rio Grande do Sul .

2.1.1. DEFINIÇÃO DAS ESCOLAS

Primeiramente, foram selecionadas onze escolas, através de um estudo maior o estudo *Bright* de pesquisa sobre a qualidade respiratória de escolares da cidade de Porto Alegre. O Realizou-se um grande estudo intitulado “Prevalência de asma em uma amostra de crianças brasileira e caracterização de fenótipos clínicos, marcadores biológicos e funcionais” aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da PUCRS, nº10/05084, no dia 13/08/2010 e pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa através do nº 16.083, no dia 16/03/2011 que selecionou de forma aleatória uma amostra de 1.800 crianças de forma representativa da população total de escolares entre 8 e 16 anos de escolas públicas do Município de Porto Alegre, RS, sendo a seleção das escolas por clusters se respeitando assim a proporção de alunos matriculados nas escolas públicas. Mapeou-se os endereços dos sujeitos que participavam do estudo, com a finalidade de determinar a rota com a maior probabilidade de ser percorrida pelo maior número dos alunos.

Além disso, as escolas deveriam ser públicas (municipais e/ou estaduais). Cada escola foi georreferenciada, conforme a tabela 1, para que se pudesse definir rotas a partir de endereços de escolares participantes do estudo *Bright*, resultando em uma maior probabilidade de se percorrer caminhos nos quais os escolares realizavam, para chegarem até a escola a partir de suas casas.

Verifica-se na tabela 1, a localização de Porto Alegre e das escolas, selecionadas no estudo, e suas respectivas coordenadas geográficas, para

facilitar a demarcação do ponto de início das coletas e as três rotas ao redor das escolas, possibilitando a reprodução do mesmo caminho nos meses subsequentes a cada nova estação do ano.

Tabela 1: Localização geográfica de Porto Alegre e das nove escolas como microrregiões de amostragem utilizadas no estudo.

Microrregiões	Escola de Amostragem	Localização	Coordenadas geográficas
Porto Alegre	-	Região Sul	Lat:-30.0277 Long:-51.2287 Sul:30° 12' 40" S Oeste: 51° 13' 43" W
1	E.M.E.F Sen Alberto Pasqualini	Porto Alegre- Restinga	Lat:-30.153064, Long: -51.142859 Sul:30°09'10.7"S Oeste:51°08'34.5"W
2	E.E.E.M Almirante Barroso	Porto Alegre- Arquipelago	Lat:-30.011293 Long:-51.264097 Sul:30°00'50.8"S Oeste: 51°15'32.4"W
3	E.E.E.M Anne Frank	Porto Alegre- Bom Fim	Lat:-30.032007 Long: -51.212723 Sul:30°1'54"S Oeste:51°12'47"W
4	E.M.F Chico Mendes	Porto Alegre- Mario Quintana	Lat:-30.033509 Long:-51.112287 Sul:30°02'00.7"S Oeste: 51°06'44.5"W
5	E.M.F Décio Martins Costa	Porto Alegre- Sarandi	Lat:-29.989063 Long: -51.106084 Sul:29°59'22.1"S Oeste:51°06'23.6"W
6	E.M.F NS Fátima	Porto Alegre Bom Jesus	Lat:-30.046966 Long: -51.157431 Sul:30°02'49.1"S Oeste:51°09'27.4"W
7	E.M.F João Antonio Satte	Porto Alegre- Rubem Berta	Lat:-29.999930 Long: -51.092061 Sul:29°59'59.9"S Oeste:51°05'31.6"W
8	E.E.E.F Martins Costa Júnior	Porto Alegre- Partenon	Lat:-30.073861 Long:-51.168756 Sul:30°04'29.6"S Oeste:51°09'54.3"W
9	E.M.F Saint Hilaire	Porto Alegre- Lomba do Pinheiro	Lat:-30.112686 Long: -51.092745 Sul:30°07'23.4"S Oeste:51°04'04.9"W

2.1.2. Definição das Rotas

Após a localização de cada microambiente e conhecendo a comunidade definiu-se o ponto mais distante do microambiente e posteriormente os pontos fixos das rotas 1, 2 e 3. Considerando-se o caminho de maior probabilidade de ser percorrido pelos escolares estudantes daquele microambiente. Das nove escolas selecionadas, 205 escolares eram participantes do estudo Bright sobre condições respiratórias, cada um destes 205 escolares foram pontuados de acordo com seus respectivos endereços.

Cada um destes caminhos, foram determinados como R1 (rota 1), R2 (rota 2) e R3 (rota 3), conforme pode ser observado na figura 02, fazendo uma relação entre a residência pertencente a um escolar mais equidistante da escola, sendo determinado como medida pontual 1, medida pontual 2, medida pontual 3.

Cada uma das rotas foi percorrida, caminhando, em dois momentos distintos do dia, pela manhã (horário de entrada dos escolares) e à tarde (horário do segundo turno dos escolares). Estas mesmas medidas foram refeitas em cada uma das estações do ano (inverno, primavera, verão e outono).

Georreferenciou-se, por meio do GSP (Sistema de posicionamento Global), segundo figura 2, os seus endereços mapeados para posterior análise da qualidade do ar nestas rotas, considerando a distância entre residência e escola, caracterizando amostras outdoor e também amostras do interior de salas de aula nas escolas, denominadas medidas indoor.

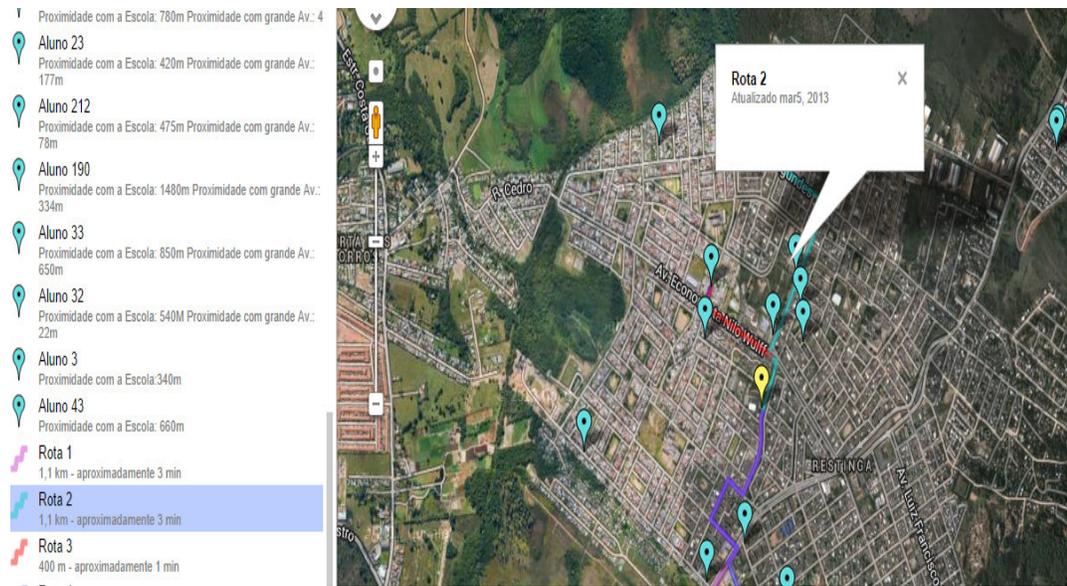


Figura 2 – Gerorreferenciamento da escola e definição de rotas de acordo com a maior probabilidade de ser percorrido por escolares caminhando até a escola.

2.1.3. Equipamentos

As medidas de material particulado e condições climáticas foram realizadas por equipamentos acurados e sensíveis. Todos de fácil manuseio e para realizar medidas em deslocamento.

As concentrações de material particulado foram realizadas com aparelho *Dust Track*™ II aerossol Monitor, modelo 8532, com filtro de MP2,5 micrômetros. O presente equipamento tem uma eficiência de bateria de 4 horas de uso, ou mais, sendo este um facilitador para coletas *in loco*, necessitando uma higienização do filtro a cada nova coleta, e calibração, para minimizar sobreposições de medidas.



Figura 3 - Equipamento *Dust Track*™ II aerossol Monitor modelo 8532.

As condições climáticas de temperatura, umidade e vento, também foram coletadas e mensuradas com equipamentos móveis, com especificidade para cada uma das variáveis a serem aferidas.

Para mensurar a velocidade do vento no momento de cada coleta,

utilizou-se um termo anemômetro digital portátil da marca *Minipa*, modelo MD-11, que verifica as variações do ar e temperatura em °C, conforme pode ser



visualizado na figura 4.

Figura 4 - Termo Anemômetro Digital MDA-II com função auto Power Off, medida de deslocamento de vento e temperatura.

A umidade relativa dos microambientes foi mesurada utilizando-se um termo-higrômetro-relógio da marca *Minipa*, modelo MT-241, digital, como pode ser observado na figura 5, utilizado para medidas indoor e outdoor, que verifica a umidade do ar em percentual, possui registro de máximo e mínimo e precisão de 1°C e 5% RH, três leituras simultâneas e indicação de horas. A precisão é dada como \pm (% da Leitura + Números), para temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa $< 95\%$. Estas especificações permitiam o registro adequado a cada momento da coleta.



Figura 5 – Termo-Higrômetro-Relógio da marca Minipa, modelo MT-241 Digital

2.1.4. Pontos de Amostragem

A seleção dos pontos foi realizada com objetivo de permitir a análise dos ambientes comparando os dados das concentrações de material particulado indoor e outdoor, desde a porta de entrada da escola até a residência mais distante mapeada dos escolares, e as concentrações no interior da sala de aula, no início da manhã e início da tarde. Diferenciando-se em coletas Pontuais (indoor e outdoor) e em movimento, respeitando a altura de 120 cm da disposição dos equipamentos durante as coletas.

2.1.5. Avaliações em Movimento

As avaliações em movimento consistiram em reproduzir, o caminho com maior probabilidade de ser percorrido pelos escolares, sendo realizado duas vezes ao dia, em cada uma das três rotas, pelos mesmos avaliadores. Assim para cada escola foram determinadas rotas que contemplassem o maior número de residências dos escolares, por meio do mapeamento dos endereços dos escolares, pontuando-se a residência mais distante do portão da escola, em três direções opostas.

Para avaliações outdoor: Definiu-se o ponto de início da coleta frente da escola, (ponto zero), medida pontual, reinício de coleta de cada uma das três rotas.

Rota 1, Rota 2 e Rota 3: medida em movimento a ser percorrido caminhando com os equipamentos ligados coletando medidas de material particulado de 185 amostras por rota.

Medidas Pontuais das Rotas 1, 2 e 3: avaliação pontual da residência mais distante do escolar pertencente ao estudo *Bright*, em relação à escola de referência.

Mensuração de medidas pontuais *Outdoor* na escola: em frente ao portão de entrada principal da escola; no pátio da escola onde os escolares realizavam intervalo e educação física.

Mensuração de medidas pontuais *Indoor* na escola: Janela/porta sala de aula: Em uma sala de aula realizava-se a mensuração de material particulado, vento, umidade, temperatura de forma pontual em dois pontos da sala de aula, próximo à janela e próximo à porta da sala de aula. As mensurações foram repetidas duas vezes ao longo do dia, pela manhã e à tarde.

O fluxograma abaixo representa as definições dos locais e rotas bem como a subdivisão de medidas indoor e outdoor em seus respectivos microambientes.

2.1.6. Replicações dos dados

Os equipamentos foram transportados manualmente a uma altura de 1,20 metros do solo, representado a altura aproximada dos escolares. Todos os trajetos traçados foram realizados caminhando pelos mesmos investigadores, em nove dias, em dois momentos ao longo do dia, nas quatro estações do ano.

2.1.7. Definição da coleta:

Todos os dados deste protocolo foram coletados nas quatro estações do ano, nas nove escolas, no mês de junho de 2013 a maio de 2014. Seguindo as definições do ano INPE no link: <http://clima1.cpte.inpe.br/estações>.



Figura 7 – Sequências de ações para coleta dos dados. Frente escola (A), coleta pontual (B), em deslocamento no período em que os escolares caminhavam para a escola (C), disposição dos materiais durante as coletas indoor em sala de aula (D).

Foram realizadas medições nas 4 estações do ano, em 9 dias distintos, para cada estação, ocorrendo medições nos 2 turnos do dia, em 3 rotas e mais 3 medidas pontuais dentro da escola e 1 na frente da escola.

Para mensuração e comparação das concentrações de material particulado 2,5 micrômetros, encontrado nas microrregiões utilizou-se o algoritmo de conversão de material particulado em índice de qualidade do ar (AQI), esta conversão serviu para comparação e classificação das microrregiões.

2.1.8. Análise Estatística

Para análise descritiva, os dados foram apresentados por frequência absoluta e relativa, descrições em média (desvio Padrão) ou mediana (intervalo interquartil), conforme a simetria das variáveis. Todas as análises foram realizadas com o programa SPSS. Todos os testes foram bidirecionais e as diferenças foram consideradas significativas com $p < 0,05$. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de ética da Pontifícia Universidade Católica do rio Grande do Sul - PUCRS pelo parecer de número 49461.

CAPÍTULO III

3.1 ARTIGO ORIGINAL

**Assessment of air quality that students undergo in school environments
and surroundings by the way to school**

Assessment of air quality that students undergo in school environments and surroundings by the way to school

Michele dos Santos Gomes da Rosa^a, Morgana Fernandes^a, Maurício Machado da Rosa^b, Marcus Herbert Jones^a.

^aPontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, PUCRS, RS.

^bUniversity Center Ritter dos Reis, UniRitter, RS.

Abstract

Exposure to particulate matter in the atmosphere is one of the main factors that negatively contribute to respiratory health, especially in urban areas and big cities. Studies about air quality indicate a negative and severe impact on health, which causes increase in morbidity and mortality. It is also noticed the increase of health problems at certain times of year. Thus, the aim of this work was to investigate the relationship between weather conditions and air quality of some public schools in Porto Alegre. Indoor and outdoor particulate matter concentrations were measured and analyzed throughout the four seasons. Mobile devices were used to measure particulate matter concentrations in nine microenvironments near schools and in the routes used by students. Temperature, humidity and wind were also measured. The particulate matter concentrations in the nine microenvironments were similar and mostly higher than the tolerated level recommended by the World Health Organization (WHO). It was observed that only in the autumn season the particulate matter concentrations remained close to the exposure levels recommended by WHO for 24 hours, and in some seasons there was a relation between PM_{2.5} and temperature together with a weak relationship with humidity, which was not so significant.

Keywords

PM_{2.5} Measurements in Motion; Scholar Air Quality; PM_{2.5} Indoor and Outdoor; Air Pollution

1. Introduction

Exposure to air pollution constitutes one of the main factors that negatively contribute to respiratory health, especially in urban areas and big cities. (1) (2) (3) (4) Studies conducted in recent years indicate a negative and severe impact on health even when pollutants are within the safety standards, and may contribute to mortality and morbidity. (16) (6) (7) (8) (9)

Time-series studies have been used to support the arguments for reducing exposure limits, or to show the health impacts with levels of pollution lower than the limits established in Resolution N3 / 90 CONASMA (National Environmental Council from Brazil). (10) (11) However, there are a small number of studies that measure the level of particulate matter in the city of Porto Alegre.

Thus, this study was conducted in the city of Porto Alegre, situated in southern of Brazil. Its climate is classified as subtropical, presenting as remarkable feature a large climatic variability. The presence of a large body of water (the Guaíba estuary) contributed to raise the rates of atmospheric humidity and modify

the local climatic conditions, with the formation of microclimates. The continuous process of land surface coverage by buildings and pavement also generates specific microclimates, featuring up to 4°C thermal variation in different regions of the city. The mean of relative humidity is 76%.

Therefore, data was collected in different microenvironments in the city of Porto Alegre, throughout the four seasons.

2. Materials and methods

2.1. Experimental Design

The measurements of air pollution were carried out in movement and in real time, using the most likely route to be daily traversed by the children to reach their school. This study considered nine schools, each one constituting a microenvironment. These schools were selected from the Bright study of quality in the city of Porto Alegre.

Public schools were selected for this study, since their students often travel on foot. Each school was georeferenced to define the routes from school to the addresses of the participants of the Bright study. For each school, three most likely routes were defined on opposite paths, for which the largest number of schoolchildren went through to get to school. They were named Routes 1, 2 and 3.

Each of the routes were traveled walking at two different times of the day: in the morning, corresponding to the school entry and in the afternoon, corresponding to the time of the second round of the schools. These measures were repeated in each of the seasons (winter, spring, summer and autumn). The samples collected on the routes and in front of the school were characterized as outdoor samples. Samples were also collected inside the classrooms, and these were called indoor samples.

2.2. Equipment

The particulate matter and climatic conditions measurements were performed by accurate and sensitive equipment.

The concentrations of particulate matter have been carried out on the Dust Track TM II Aerosol Monitor model 8532, with particulate matter filter of 2.5 micrometers, at the rate of one sample per second. It has battery able to guarantee up to 4 hours of continuous use, being a facilitator for movement measures. Its filter was cleaned after each data collection, to avoid interference in the measurements.

Temperature, humidity and wind speed were also measured with mobile equipment.

Wind speed and temperature were measured using a hand-held digital anemometer Minipa brand, model MD-11. This device measures air velocity in meters per second, and temperature in Celsius degrees. The relative humidity of the microenvironments was measured using a thermo-hygrometer-watch Minipa brand, model MT-241, digital, used for indoor and outdoor conditions. The air humidity is given in percentage and has a precision of 1°C and 5% of relative humidity, 3 simultaneous readings and time indication. Values were measured synchronously, in order to enable the correlation of the data obtained.

2.3. Moving Measurements Simulating Schoolchild Walk

The procedure of data measurement consisted in reproducing the way performed every day by students to reach the school, at least twice a day. Each school had three routes defined, which favored the larger number of residences with schoolchildren. For outdoor evaluations, the collection started in front of the school. Then the measurement started while walking along the route, towards its end. Each route needed about 30 minutes to be traveled.

The spot evaluations needed 3 minutes and was held in front of the schoolchild residence, to estimate climatic conditions such as temperature, wind, humidity, and concentration of particulate matter. After the route was completed, a new measurement started on another route, and when the three routes were completed, data from the school was measured.

The outdoor measurements at school were made in front of the main entrance gate and in the courtyard of the school, where schoolchildren stay in break time between classes and during their physical education class. Each of these measurements took 3 minutes.

Indoor measurements on school evaluated the particulate matter, wind, humidity and temperature in two points of the classroom: one near the window and the other near the door. These measurements also took 3 minutes each.

These procedure were repeated twice in a day, at morning and afternoon. They were also repeated four times in a year, to evaluate the values in each season, for the nine microenvironments. The metering devices were maintained at a height of 1.20 meters from the ground, simulating the approximate height of school children.

All data used in this study were collected from June 2013 to May 2014. The climatic data have been validated using data provided by INPE (12).

3. Results and Discussion

The data was collected in a fraction of the 24 hours of day, and represent the concentrations of particulate matter which schoolchildren are exposed during walking to school. In this time there is the highest concentration of particulate matter in the atmosphere.

Table 1 demonstrates the mean of particulate matter in the nine microenvironments, in four seasons. All measures represent an mean of two measurements: 3 minutes at morning and another 3 minutes afternoon for the single measurements, and 30 minutes, twice in a day, for each route.

Table 1 – Particulate matter (PM_{2.5}, in µg/m³) in all microenvironments.

	Microenvironment								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<i>Winter</i>								
Front	66.50	488.00	445.00	79.50	56.00	520.00	502.00	451.00	445.00
Courtyard	73.50	480.00	446.50	56.50	58.50	518.00	495.00	450.50	444.50
Class window	33.50	475.50	468.50	63.50	42.00	518.00	491.00	440.50	445.50
Class door	63.00	496.00	443.50	76.00	38.50	505.00	471.00	449.00	447.00
Route 1	55.73	327.50	467.11	100.00	104.27	494.25	497.40	467.53	447.42
Spot 1	48.50	410.50	446.00	57.00	98.00	566.50	483.50	461.50	448.50
Route 2	77.86	308.50	448.91	73.29	110.73	467.17	484.63	464.07	449.36
Spot 2	68.00	296.00	448.00	58.00	127.50	451.00	478.50	460.00	445.00
Route 3	67.63	574.07	448.08	76.38	79.86	455.40	485.29	453.33	447.45
Spot 3	56.00	492.00	442.50	70.50	67.50	442.00	486.50	455.00	442.50
	<i>Spring</i>								
Front	452.50	452.50	477.50	439.50	471.50	452.00	455.50	439.33	448.00
Courtyard	440.50	449.50	466.00	438.50	479.50	457.50	465.00	447.00	446.00
Class window	442.00	447.00	461.50	436.00	472.00	437.00	460.50	437.50	441.50
Class door	439.50	460.50	460.00	438.50	456.50	439.00	455.50	439.00	444.50
Route 1	449.39	460.13	500.37	452.47	461.73	452.92	503.83	447.75	459.54
Spot 1	454.00	459.50	505.00	446.50	455.00	442.00	501.50	444.00	454.50
Route 2	445.33	455.67	480.23	447.93	456.69	462.69	474.30	440.64	462.33
Spot 2	444.00	454.50	473.00	440.50	457.00	486.50	471.00	442.00	450.00
Route 3	449.43	456.15	478.08	451.54	472.78	453.33	471.00	440.90	451.43
Spot 3	451.00	447.00	477.00	443.50	468.50	451.00	465.50	438.50	443.00
	<i>Summer</i>								
Front	462.00	446.00	450.50	435.00	451.50	440.00	442.50	422.33	428.00
Courtyard	458.00	437.00	443.50	433.50	459.50	444.00	447.50	430.00	426.00
Class window	450.00	440.00	447.00	431.00	459.50	319.00	443.50	420.50	421.50
Class door	449.00	438.50	446.50	433.50	444.00	437.00	437.00	422.50	424.50
Route 1	476.79	453.37	470.22	447.47	443.00	447.50	445.57	434.50	439.54
Spot 1	460.50	473.00	451.00	441.00	435.50	443.00	439.00	432.00	434.50
Route 2	482.00	446.45	458.92	442.36	437.00	445.83	442.54	424.86	442.33
Spot 2	477.00	446.00	447.50	434.50	450.58	437.00	438.50	425.00	430.00
Route 3	473.00	445.18	449.91	449.46	453.33	445.80	447.77	424.00	431.43
Spot 3	453.00	445.50	450.50	439.00	448.50	441.00	451.00	421.50	423.00
	<i>Autumn</i>								
Front	25.50	84.50	73.00	20.00	66.00	42.00	11.50	59.00	8.50
Courtyard	27.00	60.00	94.00	14.50	64.00	14.50	10.50	48.00	9.00
Class window	23.50	53.50	50.50	13.00	63.00	16.00	12.00	45.00	37.50
Class door	32.50	45.50	72.00	16.50	56.00	20.00	11.50	49.50	10.00
Route 1	63.90	60.74	175.00	22.33	94.13	92.79	12.56	105.59	16.50
Spot 1	56.50	38.00	163.50	18.00	87.50	29.00	11.50	140.50	12.00
Route 2	48.33	50.70	190.94	33.64	73.00	26.30	12.00	68.42	14.57
Spot 2	48.50	50.50	184.50	36.50	71.50	19.00	9.50	67.00	7.50
Route 3	45.75	65.57	94.25	32.00	58.28	22.50	15.57	57.00	11.75
Spot 3	32.00	68.50	83.00	23.00	54.50	19.50	18.50	51.50	11.00

In Table 1, Front represents the measurement in front of the school; Courtyard, is the place where children perform the physical education and recess; Class window refers to measuring near the window of the classroom; Class door is the measurement performed next to the door of the classroom; Route 1, 2 and 3 corresponds to displacement measurements in each of the routes; Spot 1, 2 and 3 were placed in front of a child's house, near the middle of each route.

This table describes the PM_{2.5} measured during all procedure and shows differences between the 9 microenvironments, between some parts of the microenvironment and between the seasons.

The concentrations of PM_{2.5}, measured in rush hour, suggest that individuals transiting these areas are exposed to levels of risk for respiratory health, according to the WHO (22), because most part of measurements are up to the limit, considering the exposure limit for 24 hours. (22) (14) (15)

It must be emphasized that limits for exposure to PM_{2.5} in less than 24 hours was not found in the literature, and that values could be low, above the limit, in the other parts of the day.

Table 2 presents the mean values of temperature, humidity and wind, measured in all microenvironments. In this table, it can be noticed that some temperatures, like occurs during winter at microenvironments 1 to 4, are unusual for that season and the data are double checked on INPE (12) witch proof that are right. In the same way are acquired some temperatures uncommon to the summer, like microenvironments 8, and match with the INPE data (12).

Table 2 – Temperature, humidity and wind speed by Microenvironment and Season of the year

	Microenvironment								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<i>Winter</i>								
Temperature (°C)	30.850	29.600	18.150	30.143	30.762	21.188	17.529	19.700	16.550
Humidity (%)	46.150	56.600	42.900	43.238	45.048	64.375	42.706	50.200	57.350
Wind (m/s)	0.363	0.319	0.682	0.374	0.544	0.368	0.399	0.317	0.862
	<i>Spring</i>								
Temperature (°C)	31.688	27.650	27.650	29.450	27.500	25.600	30.450	28.952	24.875
Humidity (%)	51.188	55.500	50.900	50.100	65.750	54.300	57.950	38.000	67.750
Wind (m/s)	0.595	0.404	0.383	0.479	0.407	0.553	0.498	0.536	0.851
	<i>Summer</i>								
Temperature (°C)	28.750	30.350	28.195	23.350	25.000	26.111	28.950	22.667	28.875
Humidity (%)	61.438	60.950	65.950	79.550	66.750	63.222	62.050	70.000	56.750
Wind (m/s)	0.389	0.564	0.353	0.350	0.249	0.490	0.428	0.359	1.001
	<i>Autumn</i>								
Temperature (°C)	25.750	21.000	23.950	28.700	20.800	22.750	19.100	23.700	23.250
Humidity (%)	39.000	70.700	47.550	35.900	56.300	59.750	56.150	58.800	52.150
Wind (m/s)	0.381	0.297	0.218	0.371	0.517	0.380	0.585	0.522	0.485

The winter could be a no good season for the asthmatic population because de climatic conditions (16) (17) but, as sowed in Table 1, the PM_{2.5} founded in most high concentration at this study, was at spring and summer. As mentioned before this date represent a slice of the day, that all time of measurement of one microenvironment in one season are about 3.5 hours distributed in the morning and beginning of the afternoon.

These values are important to evaluate the concentrations of particulate matter, as it is dependent on the local temperature, humidity and wind. These properties favor the increase or decrease of particulate matter concentration throughout the day. (2)

Table 3 shows the relationship between indoor and outdoor particulate matter. The outdoor values represent the mean of the measurements collected in routes, and the spot measurements performed in front of the schools. The indoor values represent the mean of the measurements carried out in the classrooms, next

to the door and windows.

The ratio between indoor and outdoor mean values is also presented, as well as the standard deviation (SD) of these measurements. Schoolyard measurements were not considered in this table. The expectation was that the architectural barriers could protect against PM_{2.5}, but the ration shows that they protect in some cases, 0.367 in Autumn at microenvironment 6, had almost no protection on all microenvironments in Spring, and in some cases was better to stay at the outside because the ratio was up to 1.

Table 3 – Indoor and Outdoor Particulate Matter expressed in µg/m³ in Seasons by Microenvironments

		Winter		Spring		Summer		Autumn		
Measurement		PM _{2.5}	SD							
Microenvironment	1	Indoor	48.250	43.012	440.750	13.070	449.500	16.958	28.000	39.469
		Outdoor	66.830	53.992	448.848	25.874	475.931	55.293	53.039	50.620
		Ratio	0.722	-	0.982	-	0.944	-	0.528	-
	2	Indoor	485.750	62.922	453.750	52.873	439.250	13.366	49.500	45.349
		Outdoor	408.932	122.278	457.326	39.123	449.163	24.822	61.067	67.634
		Ratio	1.188	-	0.992	-	0.978	-	0.811	-
	3	Indoor	456.000	94.576	460.750	31.354	446.750	25.281	61.250	69.770
		Outdoor	456.767	35.941	487.870	58.870	460.909	45.055	155.468	124.921
		Ratio	0.998	-	0.944	-	0.969	-	0.394	-
	4	Indoor	69.750	86.174	437.250	7.692	432.250	14.735	15.000	18.368
		Outdoor	82.878	61.207	450.261	38.501	445.935	34.811	28.277	31.389
		Ratio	0.842	-	0.971	-	0.969	-	0.530	-
	5	Indoor	40.250	29.553	464.250	43.645	451.750	45.076	59.500	46.167
		Outdoor	93.080	64.509	465.205	39.576	445.841	52.333	74.255	63.509
		Ratio	0.432	-	0.998	-	1.013	-	0.801	-
	6	Indoor	511.500	96.399	438.000	8.854	437.000	11.928	18.000	16.293
		Outdoor	479.714	51.436	456.175	39.477	446.056	19.607	49.025	76.735
		Ratio	1.066	-	0.960	-	0.980	-	0.367	-
	7	Indoor	477.667	51.997	458.000	36.591	440.250	22.966	11.250	7.852
		Outdoor	490.385	50.924	482.000	48.227	445.167	26.231	13.261	18.702
		Ratio	0.974	-	0.950	-	0.989	-	0.848	-
	8	Indoor	444.750	42.266	438.250	9.307	421.500	51.474	47.250	91.444
		Outdoor	462.548	32.159	443.256	24.490	428.070	43.121	80.024	62.157
		Ratio	0.962	-	0.989	-	0.985	-	0.590	-
	9	Indoor	446.250	12.652	443.000	17.232	423.000	49.088	23.750	75.552
		Outdoor	447.889	26.500	457.286	31.903	437.286	25.296	14.227	17.205
		Ratio	0.996	-	0.969	-	0.967	-	1.669	-

For the calculation of the Pearson correlation coefficients, presented in Table 4, only particulate matter collected outdoors were considered – ie. those labeled Front, Route 1, Spot 1, Route 2, Spot 2, Route 3 and Spot 3 from Table 1.

The Table 4 present correlation between the variables from Table 1 and Table 2 and demonstrate that these variables are not always interlaced, the correlation with PM_{2.5} vary between seasons and at some cases is not strong. In Winter the temperature is significant at the 0.01 level and could influence on PM_{2.5} concentration for example.

Table 4 – Pearson Correlation Coefficient between Variables by Seasons

		PM _{2.5}	Humidity	Temperature	Wind
Winter	PM _{2.5}	1	0.316**	-0.697**	0.025
	Humidity		1	-0.373**	-0.058
	Temperature			1	-0.066
	Wind				1
Spring	PM _{2.5}	1	0.346**	-0.222*	-0.233*
	Humidity		1	-0.484**	-0.121
	Temperature			1	0.050
	Wind				1
Summer	PM _{2.5}	1	0.082	-0.226*	0.095
	Humidity		1	-0.434**	-0.200
	Temperature			1	0.183
	Wind				1
Autumn	PM _{2.5}	1	0.183*	-0.144	-0.297**
	Humidity		1	-0.734**	0.062
	Temperature			1	-0.022
	Wind				1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

The EPM was calculates to simulate 6 hours of schoolchild normally could uses to shift before school, to stay at the school and to shifting after school to home, and the ponderations of witch PM_{2.5} measure are showed in Table 5.

Table 5 – Weighting values considered to estimate the AQI which a schoolchild is exposed.

EPM in µg/m ³		
Front	0.33 h	School Total Time 4 h
Courtyard	0.83 h	
Class window	1.42 h	
Class door	1.42 h	
Route	1.00 h	Shifting Total Time 2 h
Spot	1.00 h	

As the AQI must be used to show means of PM_{2.5} in 24 hours or year, was pondered the others 18h of the day, once that EPM simulates 6 hours, with base on EPM that are expected to be the ours of the day with most high PM_{2.5} concentration. So the estimated particulate matter for 24 hours, EMP24, was made by 6 hours using EPM, 6 hours with a fourth part of EPM, 6 hours of PM_{2.5} at 12 µg/m³, that is the limit of good PM_{2.5} condition (22) (18), and for the others 6 hours was defined 5 µg/m³, that is a low measurements for PM_{2.5} (2).

The weighting values considered to estimate the EPM were defined according to the time that students were exposed in each place, as well as the time needed to go and return from school. (19) (20)

The air quality index (AQI) of all microenvironments was calculated according to EPA (18) using the estimated particulate matter for 24 hours (EPM24), and it is presented in Table 6. In the columns of Table 6, "C" corresponds to the central position of the microenvironment, offset source of routes; and "R1", "R2" and "R3" correspond to Routes 1, 2 and 3, respectively.

Table 6 – AQI in the Microenvironment by the Seasons

		Winter				Spring				Summer				Autumn				
		C	R1	R2	R3	C	R1	R2	R3	C	R1	R2	R3	C	R1	R2	R3	
Microrregiões	4	Good	Moderate	Moderate	Moderate	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy
	1	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy
	5	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Very Unhealthy	Unhealthy											
	9	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy
	8	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy
	2	Very Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy
	7	Very Unhealthy	Very Unhealthy	Very Unhealthy	Very Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy
	6	Very Unhealthy	Very Unhealthy	Very Unhealthy	Very Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy
	3	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy

	Good
	Moderate
	Unhealthy for Sensitive Groups
	Unhealthy
	Very Unhealthy
	Hazardous

The Table 6 shows the microenvironments and AQI condition by the season and, by the sorting of AQI, the microenvironment 5 was considered better than 9 because it had a better distribution of PM_{2.5} through the seasons, and 7 better than 6 by the good condition in autumn. All date microenvironments was sorted by means of PM_{2.5} concentrations through the seasons.

There is a lack of air quality standards for PM_{2.5} in Brazil it was not possible to determine whether the levels found in Table 6 are acceptable from the standpoint of the Brazilian legislation (21). (22) (23) However, according to the WHO standards, using EMP24, most of the air which students are exposed can be classified as unhealthy most of the year, except in Autumn, when the air in most of the microenvironments can be classified as moderate or good.

Results of Table 4 suggest a relationship between concentration of particulate matter and climatic conditions of the microenvironments, which can reach the very unhealthy level as defined by the WHO (18). Other studies verify the association of morbidity and concentration of PM_{2.5}. (24) (11) (25) (9)

Similar results in this study suggest that the increase in particulate matter in the winter and spring seasons, a period of increased concentration of soot in the air and increased hospitalizations of children in hospitals for respiratory complaints, are related to each other. (26) (22) (2) (27)

The high concentrations of particulate matter, above the levels recommended by WHO (22) (18), can also be related to the high automotive flux density in the studied region, which decreases the quality of the air, and that may reflect on the respiratory health of individuals, especially if they are children. (36) (29) Among the various forms of environmental degradation, pollution of atmospheric air is one of the most harmful, because it affects the human health directly. (30) (31) (25) Thus, it is important to adopt policies for air monitoring. In Brazil, the air quality standards are established by the Brazilian Institute of Environment and Renewable Resources

(IBAMA) and approved by the Council of Environment (CONAMA).

The quantification of the contribution of meteorological variables on various health outcomes deserves attention in national studies, especially in regions with variable weather conditions and the respective microenvironments.

4. Conclusions

The present study demonstrated that high levels of PM_{2.5} can be found depending on the season of the year. According to the parameters recommended by WHO for 24 hours, all microenvironments presented hazardous levels of air quality during the summer, winter and spring, while remaining close to the recommended only in the autumn. This may be explained by the influence of the air flow, which is more intense in this season, promoting the dispersion of particulate matter. As to the relationship between the indoor and outdoor environments perceived a subtle difference, however no statistical significance.

It should be considered that there were important limitations in the research. The sampling time was approximately 3 hours, while WHO has limits established only for 24 hours and a whole year. However, the aim of this study was to measure the level of PM_{2.5}, around different school microenvironment, thus there is no need to evaluate 24 hours since these children remain at school for a period of 4 hours average daily. In this period, it was possible to establish an appropriate parameter by the AQI that also demonstrates the high levels of PM_{2.5} in microenvironment.

In some cases it was verified that the indoor PM_{2.5} measured was lower than the outdoor measures, in other cases was the opposite. Thus, it can be concluded that, in the microenvironments considered in this study, the schoolchildren are protected of particulate matter inside of schools. (32) (33) (34)

Acknowledgements

Thanks to the Biomedical Research Institute (IPB) and Infant Centre from the same institute, at PUCRS.

References

1. SPIRA-COHEN A, Chen L, Kendall M, Lall R, Thurston G. Personal Exposures to Traffic-Related Air Pollution and Acute Respiratory Health Among Bronx School Children with Asthma. *Environ Health Perspect.* 2011, pp. 119:559-565.
 2. O'CONNOR GT, Neas L, Vaughn B, Kattan M, Mitchell H, Crain EF, Evans R, 3rd, Gruchalla R, Morgan W, Stout J, Adams GK, Lippmann M. . Acute respiratory health effects of air pollution on children with asthma in US inner cities. . *J Allergy Clin Immunol.* 2008, Vol. 12.
 3. BRAUER M, Hoek G, Smit HA, de Jongste JC, Gerritsen J, Postma DS, Kerkhof M, Brunekreef B. . Air pollution and development of asthma, allergy and infections in a birth cohort. *Eur Respir J.* 2007, Vols. 29(5):879-88.
 4. SPEKTOR D.M., Hofmeister V.A., Artaxo P., Brague J.A., Echelar F., Nogueira D.P., Hayes C., Thurston G.D., Lippmann M. Effects of heavy industrial pollution on respiratory function in the children of Cubatao, Brazil: preliminary report. *Environ Health Perspect.* 1991.
 5. SALVI S. Health effects of ambiente air pollution in children. *Paediatr Respir Rev.* 2007.
 6. POPE CA 3rd, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, et al. . Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. . *Circulation.* 2004.
 7. ROY A, Sheffield P, Wong K, Trasande L. The Effects of Outdoor Air Pollutants on the
-

- Costs of Pediatric Asthma Hospitalizations in the United States, 1999 to 2007. *Med Care Epub ahead of print*. 2011.
8. **DERANI M, Pope D, Mascarenhas M, Smith KR, Weber M, Bruce N.** Indoor air pollution from unprocessed solid fuel use and pneumonia risk in children aged under five years: a systematic review and meta-analysis. *Bull World Health Organ*. 2008.
9. **COLOMBINO, M.P.** Poluição atmosférica e seu impacto no sistema cardiovascular. . *Revista Einstein*. 2008.
10. **SANTOS, A.J.A.** O tamanho das partículas de poeiras suspensas no ar dos ambientes de trabalho. Brasília: Ministério do Trabalho e emprego . *FUNDACENTRO*. 2001.
11. **ARABEX MA, Santos UP, Martins C, Saldiva PHN, Pereira AA, Braga ALF.** A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol*. 2012.
12. **INPE, CPTEC.** Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos. [Online] [Citado em: 10 de 07 de 2015.] <http://www.cptec.inpe.br/cidades/tempo/237>.
13. **WORLD HEALTH ORGANIZATION.** Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *Copenhagen: World Health Organization*. 2005.
14. **KÜNZLI N, PEREZ L, RAPP R.** Air quality and Health: European Respiratory Society. *World Health Organization*. 2010.
15. **HO K.F., Lee S.D., CHOW J.C., Watson J.G.** Characterization of PM10 and Pm2,5 source profiles for fugitive dust in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 2003.
16. **ROEMER W, Hoek G, Brunekreef B.** Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms. *Am Rev Respir Dis*. 1993.
17. **SEINFELD, J.H.** Atmospheric chemistry and physics or air pollution. . *New York:john Wiley & Sons*. 1986.
18. **EPA.** <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/2012/decfsstandards.pdf>. *Revised Air Quality Standards for Particle Pollution and Updates to the Air Quality Index (AQI)*. [Online] 2012.
19. **SALVI, S.** Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatr Respir Rev*. 2007.
20. **SANT'ANNA C.C., França A.T.** Atmospheric pollution and the prevalence of asthma: study among schoolchildren of two areas in Rio de Janeiro, Brazil. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2004.
21. **Padrões de Qualidade do Ar.** Padrões de Qualidade do Ar. [Online] Padrões de Qualidade do Ar, 2005. [Citado em: 10 de 5 de 2015.] <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-de-qualidade-do-ar>.
22. **GEHRING U, Wijga AH, Brauer M, Fischer P, de Jongste JC, Kerkhof M, Oldenwening M, Smit HA, Brunekreef B.** Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am J Respir Crit Care Med*. 2010.
23. **SPIRA-COHEN A, Chen L, KENDALL M, Lall R, THURGSTON G.** Personal Exposures to Traffic-Related Air Pollution and Acute Respiratory Health Among Bronx School Children with Asthma. *Environ Health Perspect*. 2011.
24. **MONTEIRO, C.A. de F. ; Mendonça, F.** Clima urbano. *São Paulo: Contexto*. 2003.
25. **BALMES J.R., Earnest G., Katz P.P., Yelin E.H., Eisner M.D., Chen H., Trupin L., Lurmann F., Blanc P.D.** Exposure to traffic: Lung function and health status in adults with asthma. *J Allergy Clin Immunol*. 2009.
26. **MAESTRELLI P, Canova C, Scapellato ML, Visentin A, Tessari R, Bartolucci GB, Simonato L, Lotti M.** Personal exposure to particulate matter is associated with worse health perception in adult asthma. *J Investig Allergol Clin Immunol* . 2011.
27. **WORLD HEALTH ORGANIZATION.** Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. *Geneva: World Health Organization*. 2009.
28. —. Air quality guidelines for Europe. *WHO Copenhagen; (regional Publications. European Series, 23)*. 1987.
29. **BELLEUDI V, Faustini A, Stafoggia M, Cattani G, Marconi A, Perucci CA, et al.** Impact of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and
-

respiratory diseases. *Epidemiology*. 2010.

30. MARTINS, L. C.; Latorre ,M. R. D. O.; Cardoso, M. R. A; Gonçalves, F. L. T.; Saldiva, P. H. N.; Braga, A. L. F. Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in São Paulo, Brazil. *Revista saúde Pública, São Paulo*. 2002.

31. BRAGA AL, Zanobetti A, Schwartz J. . The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. . *J Occup Environ Med*. . 2001.

32. LAGORIO S, Forastiere F, Pistelli R, Iavarone I, Michelozzi P, Fano V, Marconi A, Ziemacki G, Ostro BD. Air pollution and lung function among susceptible adult subjects: a panel study. . *Environ Health* . 2006.

33. ISLAM T, Gauderman WJ, Berhane K, McConnell R, Avol E, Peters JM, Gilliland FD. Relationship between air pollution, lung function and asthma in adolescents. *Thorax* . 2007.

34. ANDERSEN Z.J., Loft S., Ketzler M., Stage M., Scheike T., Hermansen M.N., Bisgaard H. Ambient air pollution triggers wheezing symptoms in infants. *Thorax*. 2008.

Competing interests: *The authors declare that they have no competing interests.*

CAPÍTULO IV

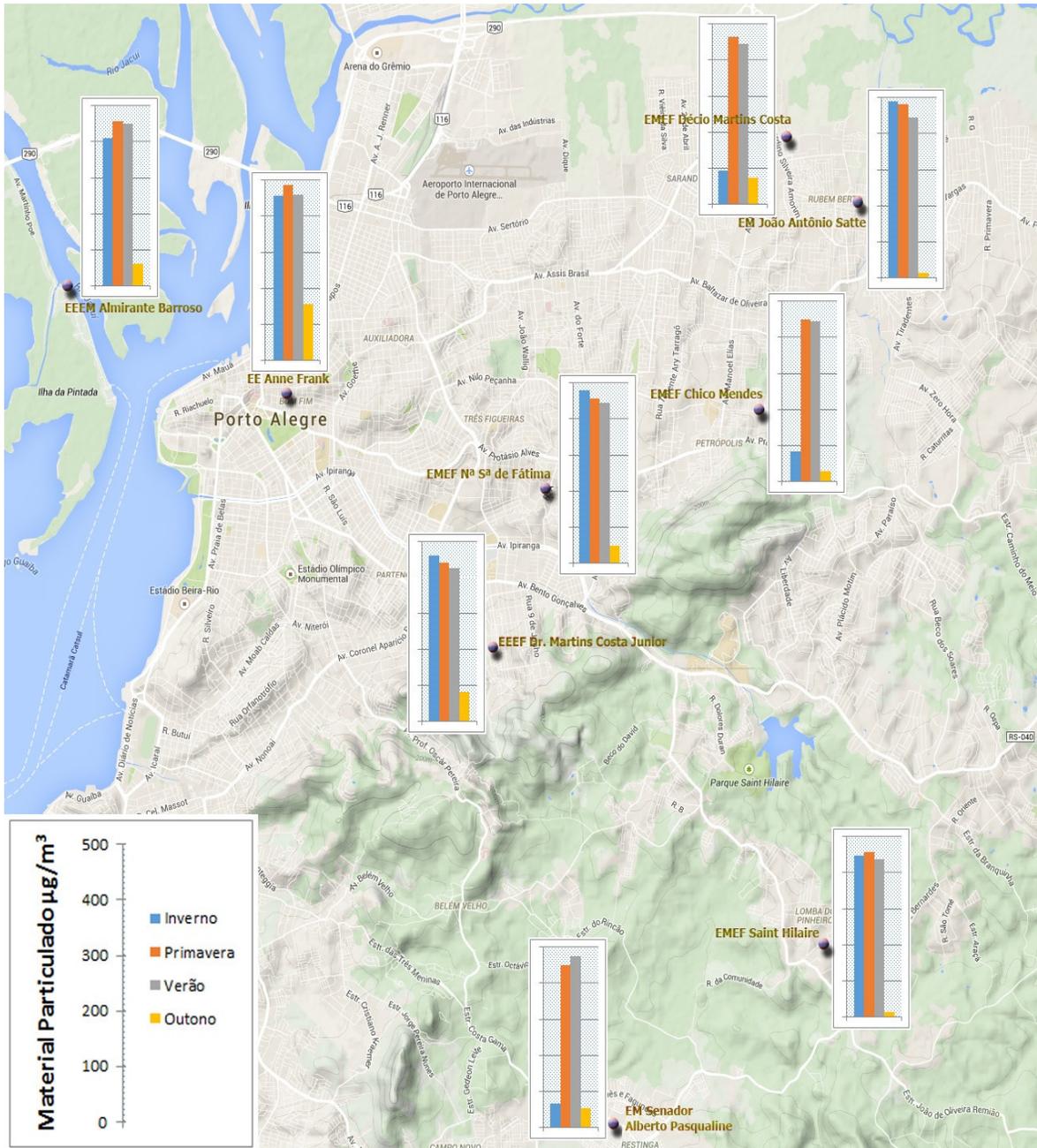
4.1 CONCLUSÕES

Conforme os objetivos desse estudo, baseando-se nos resultados encontrados, formularam-se as seguintes conclusões:

- ✓ As concentrações de Material Particulado 2,5 em pico são elevadas e mantem-se independente da estação climática do ano.
 - ✓ Embora tenhamos encontrado uma tendência em relação as concentrações de Material Particulado em relação a temperatura e vento, não houve diferença significativa.
 - ✓ A relação entre as concentrações de Material particulado de 2,5 em ambientes indoor e outdoor não se encontraram associadas com a com a condição climática e localização da microrregião.
 - ✓ Fazem-se necessárias mensurações de concentração de material particulado de 2,5 ao longo de 24h, bem como uma taxa de amostragem maior nos ambientes mais poluídos e menos poluídos e correlacionar com as condições respiratórias dos indivíduos vulneráveis como crianças e idosos, uma de nossas limitações.
-

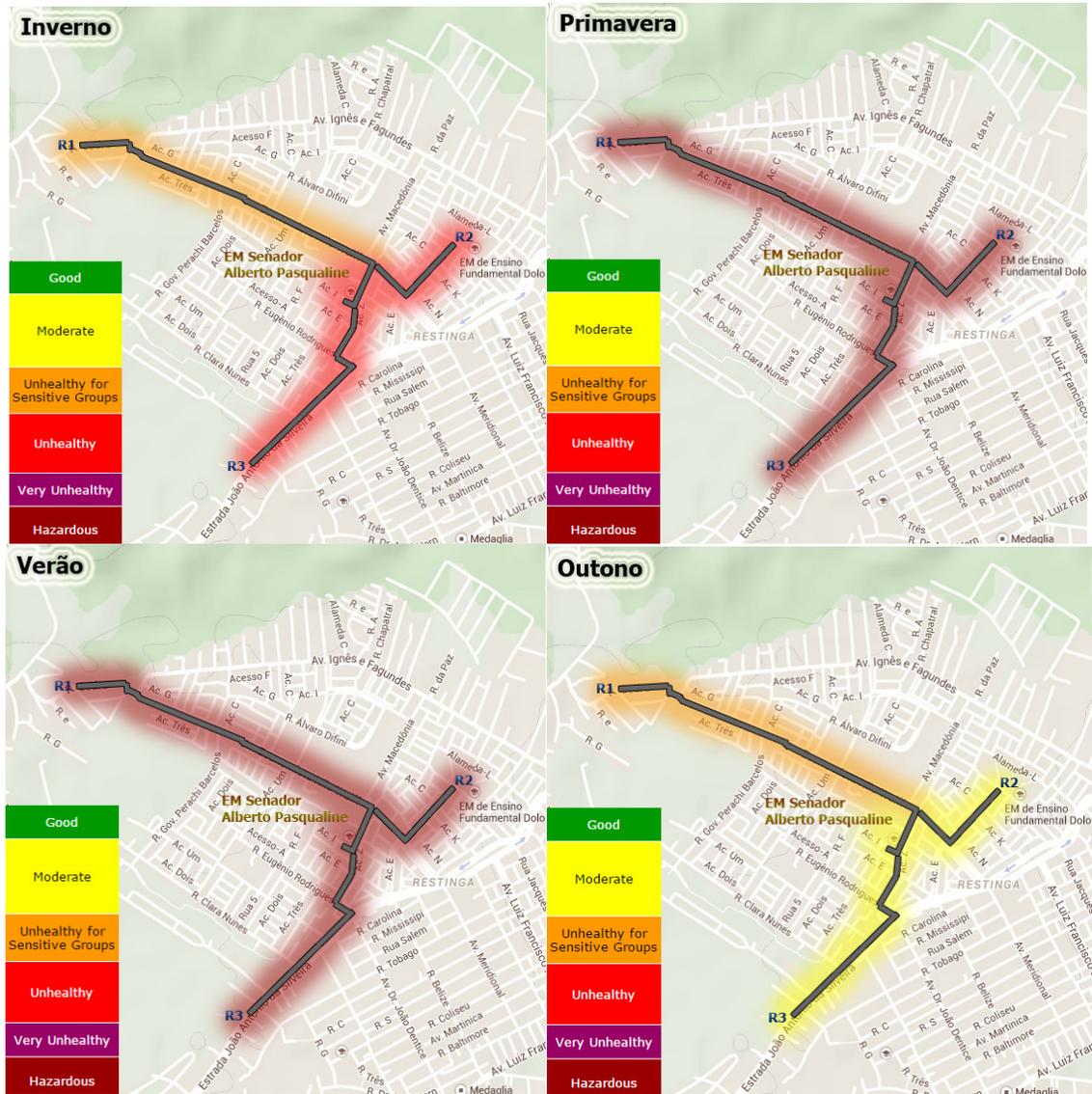
ANEXOS

ANEXO 1 – MAPA DAS NOVE MICRORREGIÕES

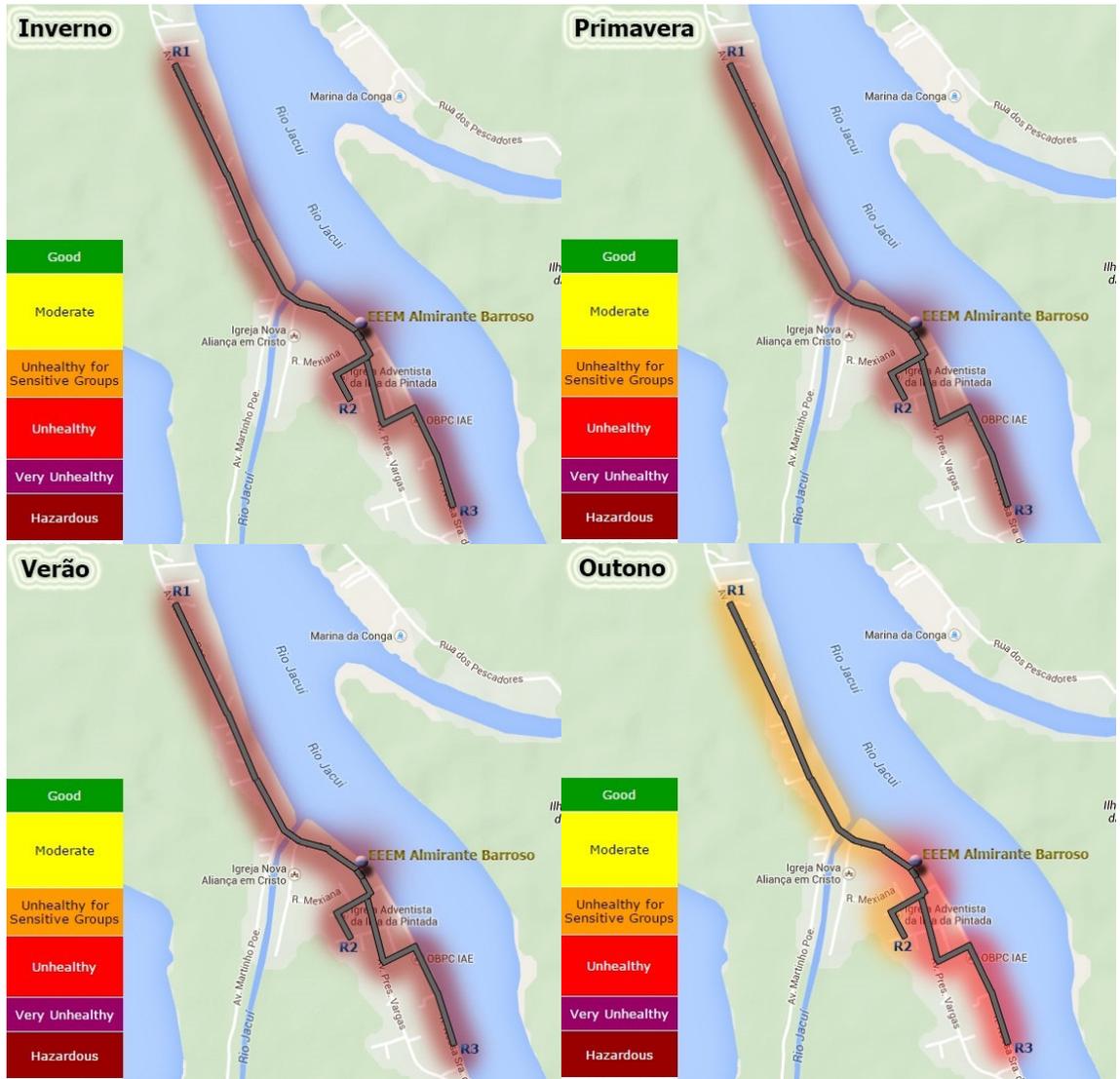


ANEXO 2 – MAPA DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO NAS TRÊS ROTAS DE CADA UMA DAS NOVE MICRORREGIÕES NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO, UTILIZANDO O AQI PARA DEMONSTRAÇÃO.

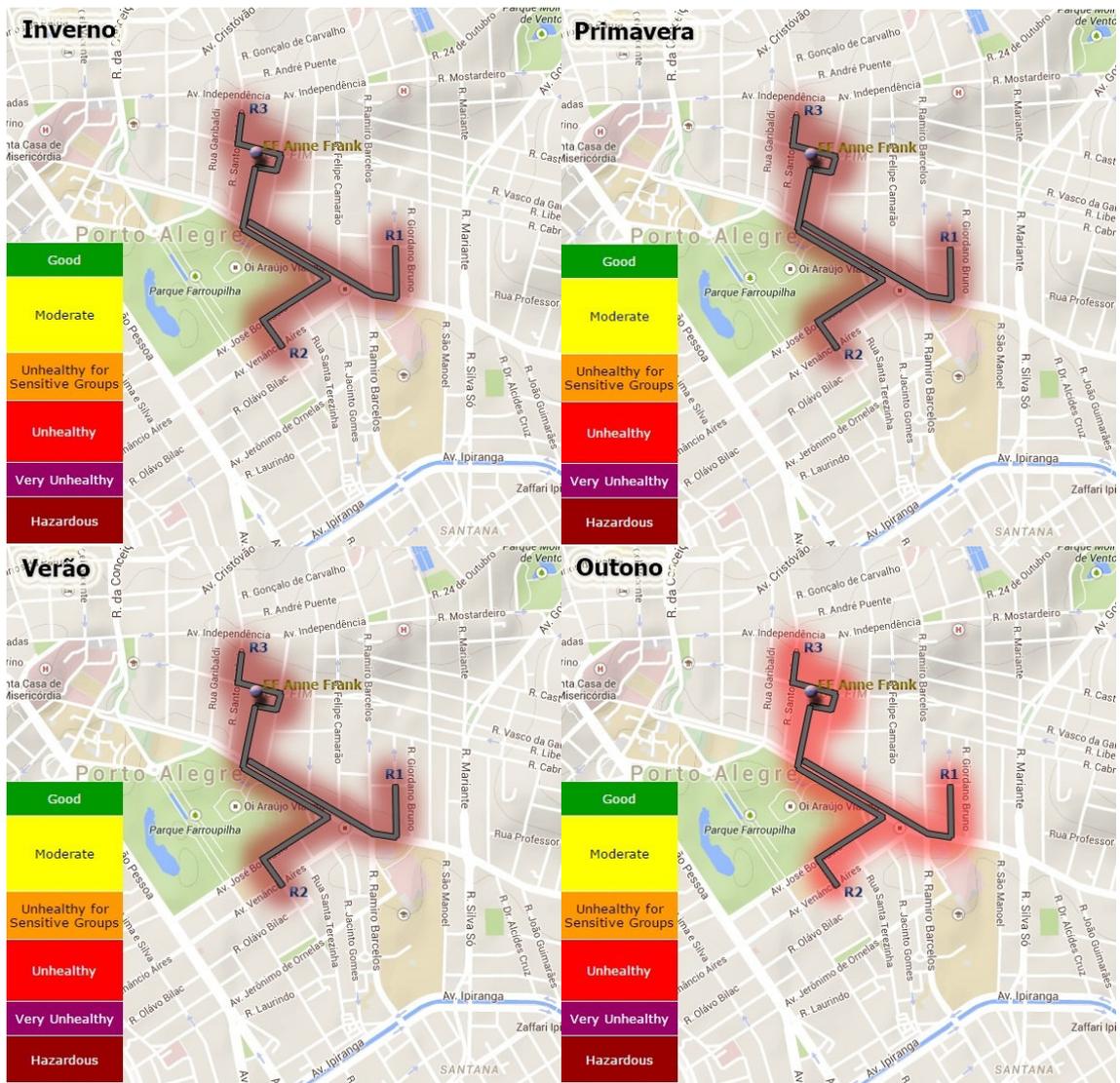
Anexo 2.1 – Microrregião 1



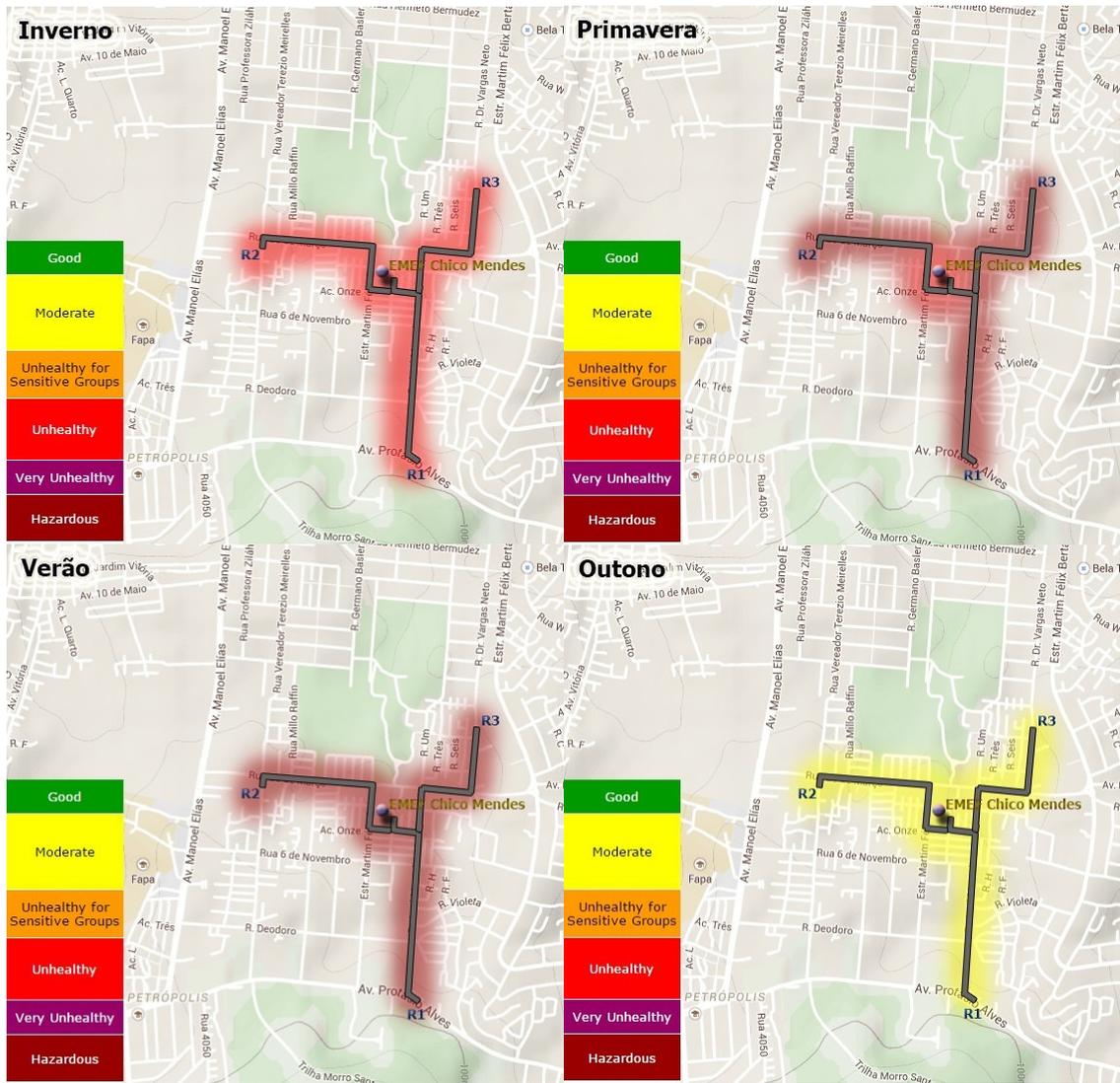
Anexo 2.2 – Microrregião 2



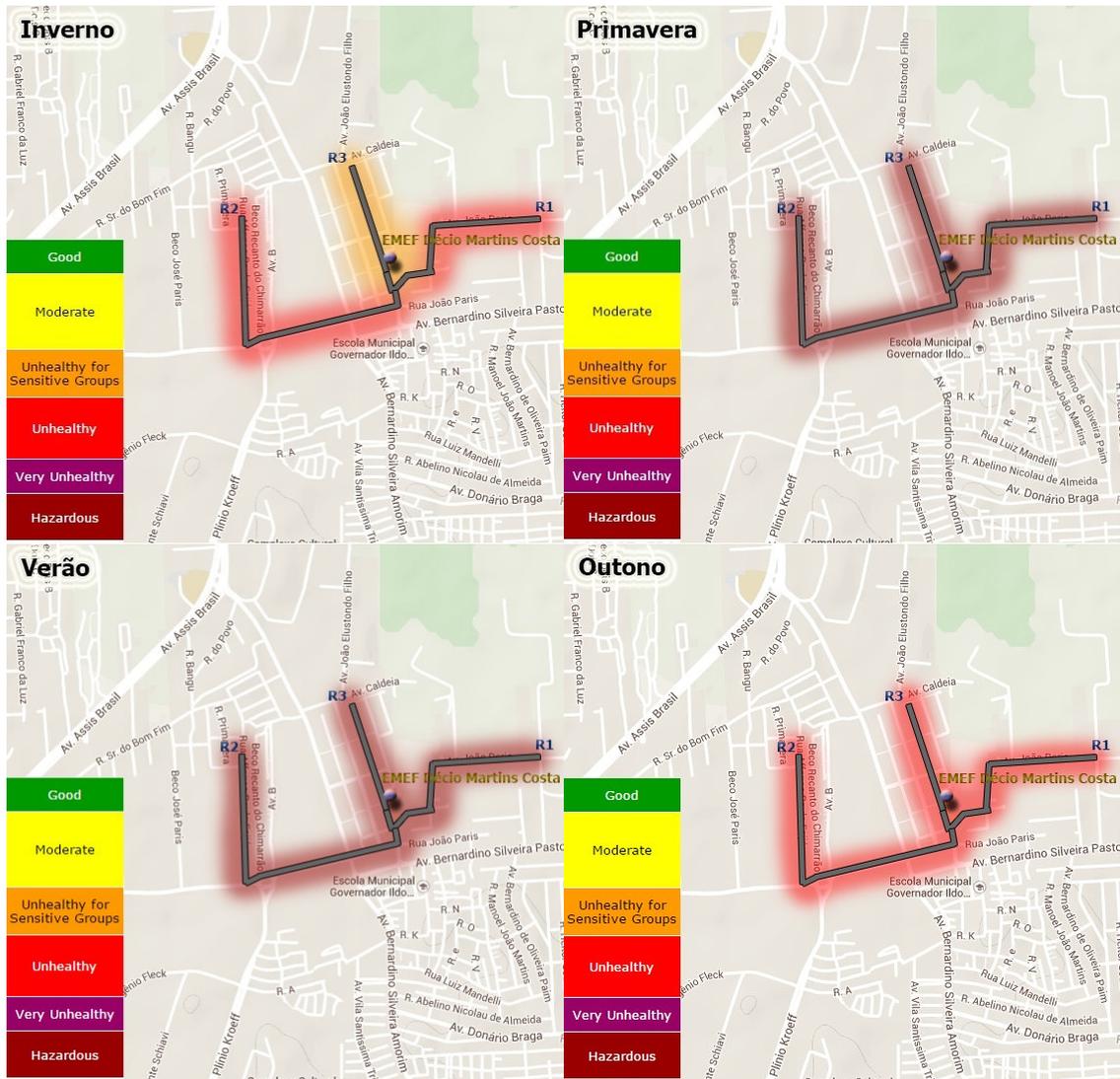
Anexo 2.3 – Microrregião 3



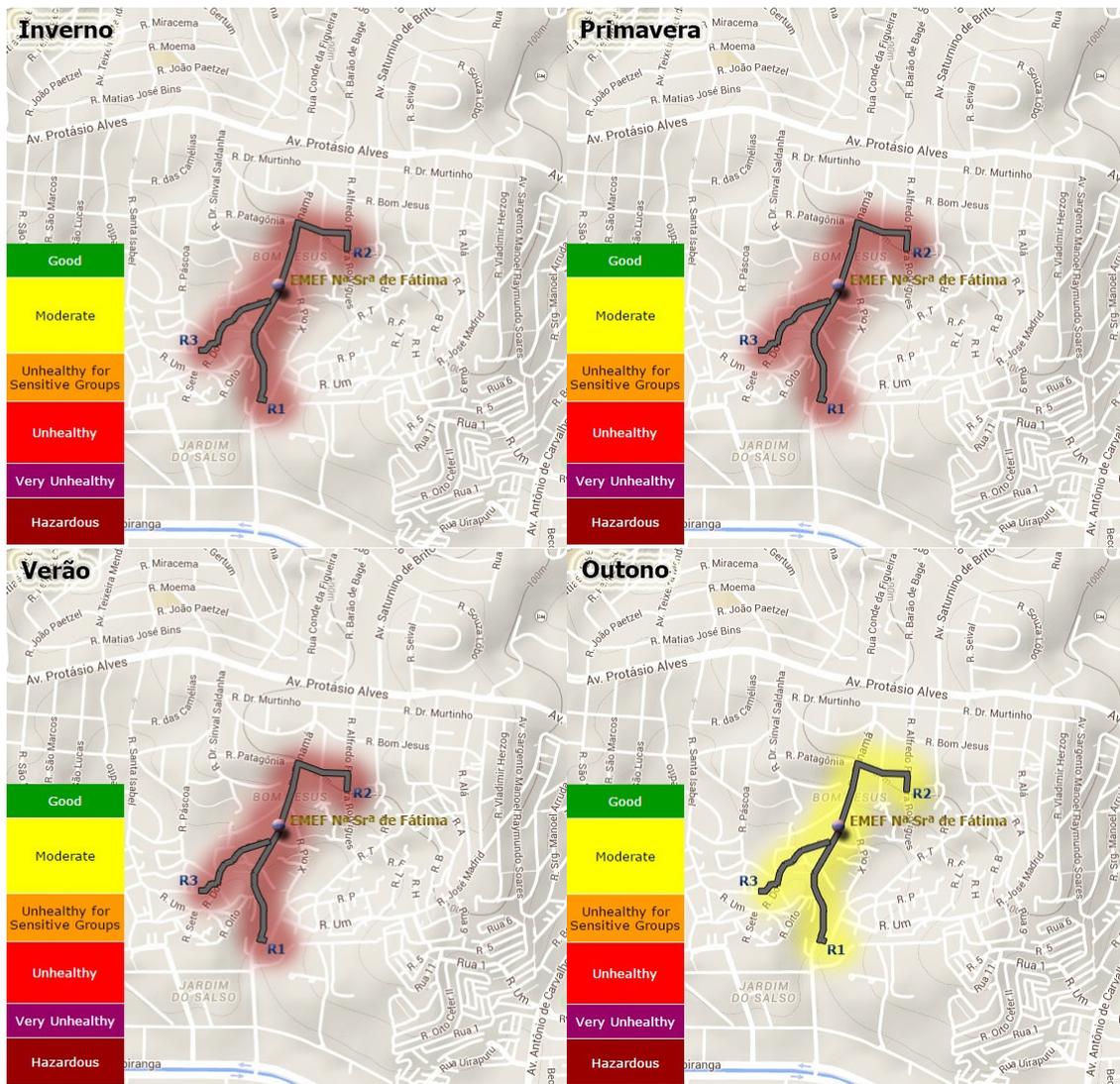
Anexo 2.4 – Microrregião 4



Anexo 2.5 – Microrregião 5



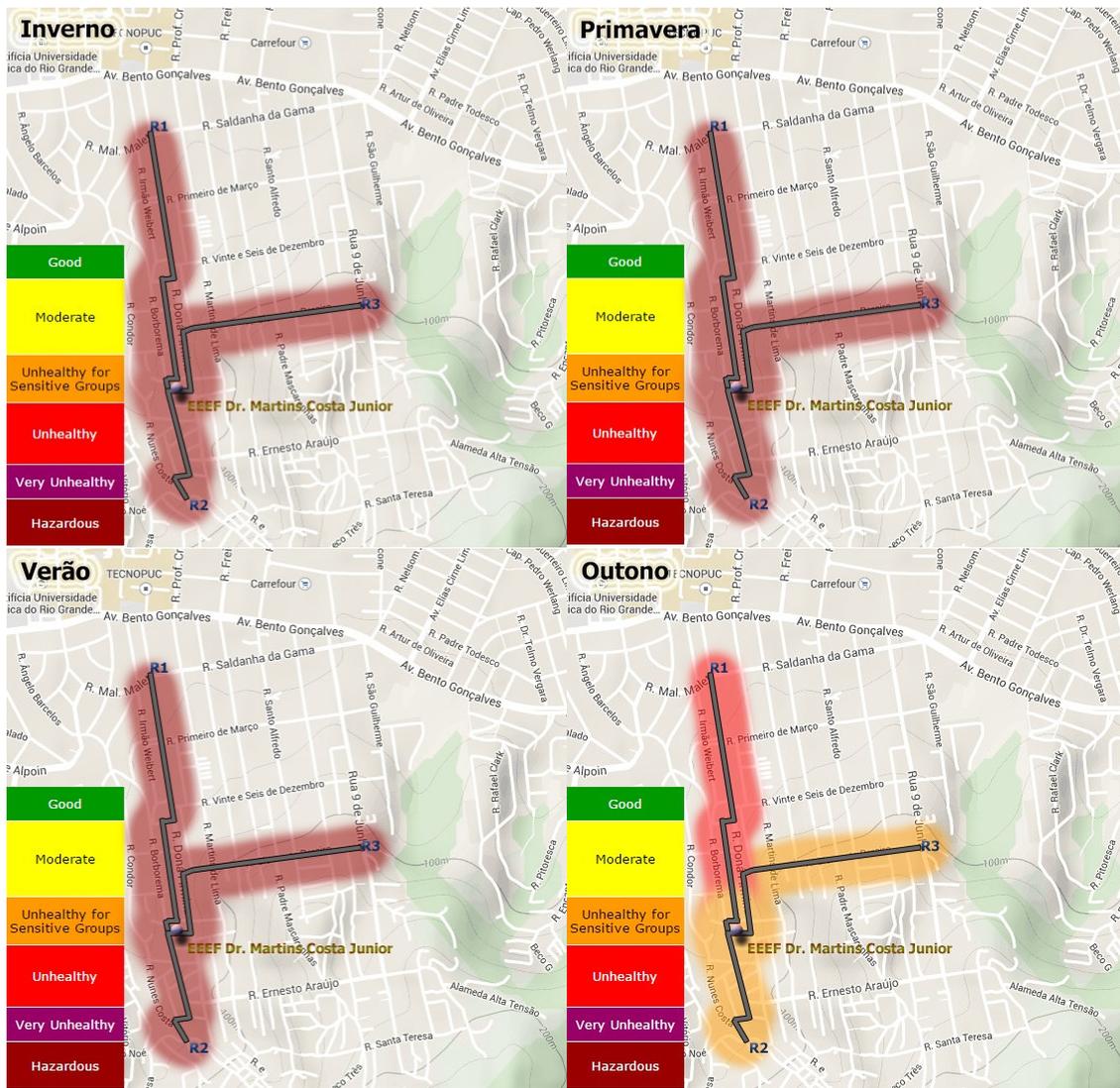
Anexo 2.6 – Microrregião 6



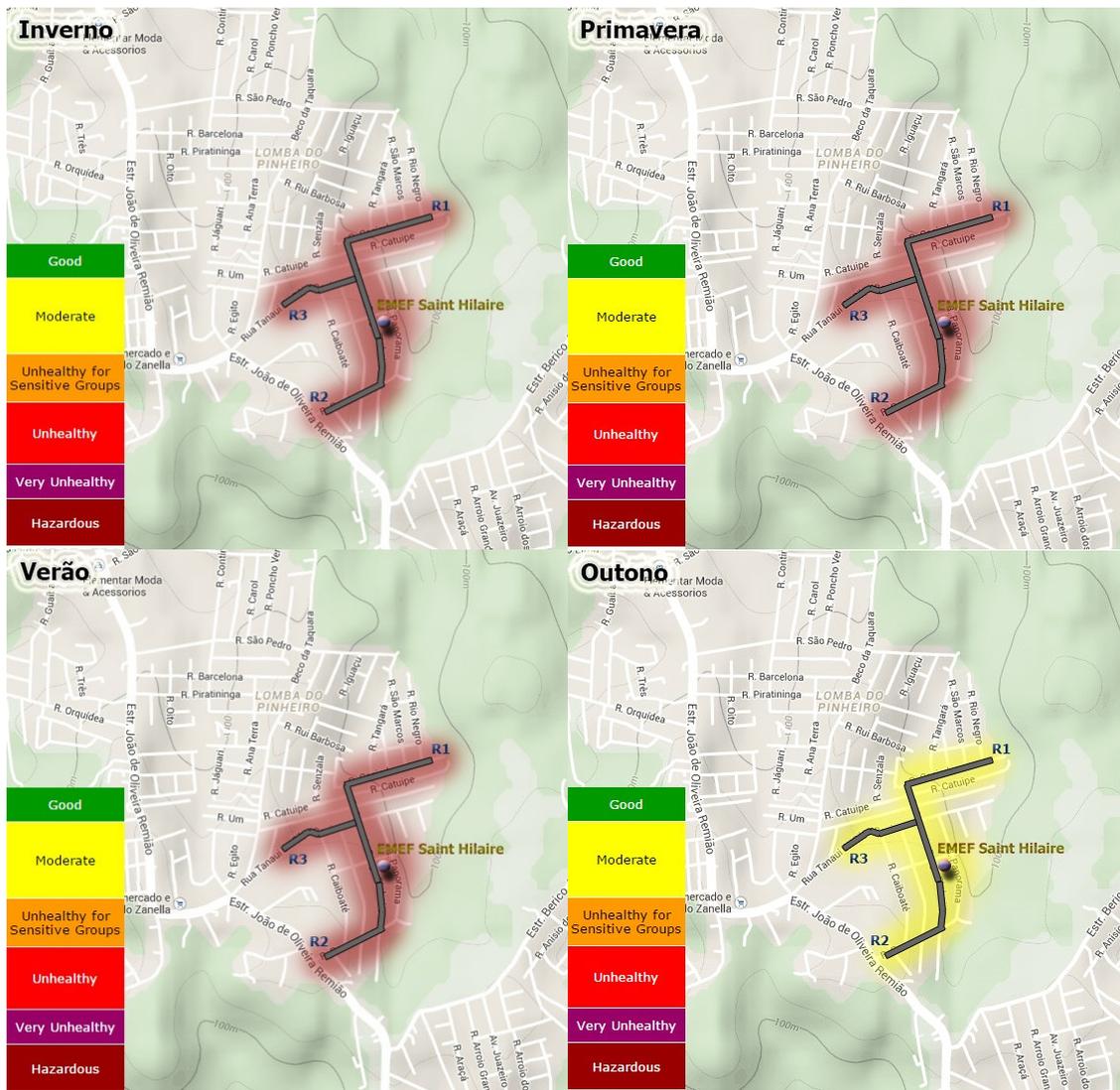
Anexo 2.7 – Microrregião 7



Anexo 2.8 – Microrregião 8



Anexo 2.9 – Microrregião 9



Anexo 3 – Instrumento de Registro de coleta de dados

Estação do ano: _____

ESCOLA: _____

DATA: __/__/____ Horário Início: _____ Horário Término: _____

Temperatura _____ Umidade: _____

Velocidade do ar: Min: ____ m/s Max: ____/ms

Equipamentos: Dust Track (registro numeração): Tempo de duração de cada registro: 3 mim.

Test _____ Medições Outdoor Rota A

Número	Hora	Descrição	temperatura	umidade	Vento min	Vento max
		Pontual frente escola				
		deslocamento				
		Pontual casa				

Test _____ Medições Outdoor Rota B

Número	Hora	Descrição	temperatura	umidade	Vento min	Vento max
		Pontual frente escola				
		deslocamento				
		Pontual casa				

Test: _____ Medições Outdoor Rota C

Número	Hora	Descrição	temperatura	umidade	Vento min	Vento max
		Pontual frente escola				
		deslocamento				

		Pontual casa				

Medições Outdoor Pátio escola:

Número	Hora	descrição	temp	Umidade	Velocidade do ar
		Frente escola			
		Patio			

Medições Indoor Sala de aula

Número	Hora	descrição	temp	Umidade	Velocidade do ar
		Porta			
		Janela			

Horario de término: _____

OBS: (Chuva etc) _____

Anexo 4 – Algoritmo para Cálculo do AQI (IQR)

```
SE (MP2.5 >= 350,5)
    AQI = ((MP2.5 - 350,5) / (500,4 - 350,5)) * (500 - 401) + 401;
SE (MP2.5 >= 250,5)
    AQI = ((MP2.5 - 250,5) / (350,4 - 250,5)) * (400 - 301) + 301;
SE (MP2.5 >= 150,5)
    AQI = ((MP2.5 - 150,5) / (250,4 - 150,5)) * (300 - 201) + 201;
SE (MP2.5 >= 55,5)
    AQI = ((MP2.5 - 55,5) / (150,4 - 55,5)) * (200 - 151) + 151;
SE (MP2.5 >= 35,5)
    AQI = ((MP2.5 - 35,5) / (55,4 - 35,5)) * (150 - 101) + 101;
SE (MP2.5 >= 12,1)
    AQI = ((MP2.5 - 12,1) / (35,4 - 12,1)) * (100 - 51) + 51;
SE (MP2.5 >= 0)
    AQI = ((MP2.5) / (12)) * 50;
```

Anexo 5 – Carta de Aceite do CEP



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
FACULDADE DE MEDICINA
PÓS-GRADUAÇÃO EM PEDIATRIA E SAÚDE DA CRIANÇA

Porto Alegre, 14 de maio de 2012

Ao
Prof. Dr. Marcus Herbert Jones
N/Faculdade

Comunicamos que o projeto intitulado: "**Efeito da poluição atmosférica na função pulmonar, inflamação da via aérea e hiperresponsividade brônquica em escolares da cidade de Porto Alegre**", foi aprovado pela Comissão Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Medicina/Pediatria e Saúde da Criança.

Informamos que o mesmo deve ser encaminhada ao Comitê de Ética em Pesquisa, através do CIDAPE, 2º andar do HSL.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Renato Tetelbom Stein
Coord. do PPG em Medicina/Pediatria e
Saúde da Criança – PUCRS

Campus Central
Av. Ipiranga, 6690 – P. 60 – 2º andar – IPB – Sala 03
CEP 90610-000 – Porto Alegre – RS – Brasil
Fone/Fax: (51) 33203350
E-mail: pediatria-pg@pucrs.br
www.pucrs.br/medicina

Anexo 6 – Carta cadastro na Plataforma Brasil

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DO RIO GRANDE
DO SUL - PUC/RS

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Efeito da poluição atmosférica na função pulmonar, inflamação da via aérea e hiperresponsividade brônquica em escolares da cidade de Porto Alegre

Pesquisador: MARCUS HERBERT JONES

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 03461512.2.0000.5336

Instituição Proponente: UNIAO BRASILEIRA DE EDUCACAO E ASSISTENCIA

DADOS DA NOTIFICAÇÃO

Tipo de Notificação: Outros

Detalhe: Notificação

Justificativa: Venho por meio do presente documento solicitar o pedido de inclusão das

Data do Envio: 14/01/2013

Situação da Notificação: Aguardando revisão do parecer do colegiado

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 189.202

Data da Relatoria: 18/01/2013

Apresentação da Notificação:

Aprovado por este CEP a inclusão das pesquisadoras Carina Saraiva Eidt e Michele Santos Gomes da Rosa no estudo supracitado.

Objetivo da Notificação:

Aprovado por este CEP a inclusão das pesquisadoras Carina Saraiva Eidt e Michele Santos Gomes da Rosa no estudo supracitado.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Aprovado por este CEP a inclusão das pesquisadoras Carina Saraiva Eidt e Michele Santos Gomes da Rosa no estudo supracitado.

Comentários e Considerações sobre a Notificação:

Aprovado por este CEP a inclusão das pesquisadoras Carina Saraiva Eidt e Michele Santos Gomes da Rosa no estudo supracitado.

Endereço: Av. Ipiranga, 6681

Bairro:

CEP: 90.619-900

UF: RS

Município: PORTO ALEGRE

Telefone: (51)320-3345

Fax: (51)320-3345

E-mail: cep@puors.br

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DO RIO GRANDE
DO SUL - PUC/RS



Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Aprovado por este CEP a inclusão das pesquisadoras Carina Saraiva Eidt e Michele Santos Gomes da Rosa no estudo supracitado.

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado por este CEP a inclusão das pesquisadoras Carina Saraiva Eidt e Michele Santos Gomes da Rosa no estudo supracitado.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

PORTO ALEGRE, 25 de Janeiro de 2013

Assinador por:
Rodolfo Herberto Schneider
(Coordenador)

Endereço: Av. Ipiranga, 6681
Bairro: CEP: 90.619-900
UF: RS Município: PORTO ALEGRE
Telefone: (51)320-3345 Fax: (51)320-3345 E-mail: cep@puors.br