



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO
URBANO E REGIONAL**

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COMO CONDICIONANTE
NO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO:
Análise na cidade de Porto Alegre, RS**

JOSIANE PAULA MARTINELLO MARIO

Porto Alegre

2012

JOSIANE PAULA MARTINELLO MARIO

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COMO CONDICIONANTE
NO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO:**

Análise na cidade de Porto Alegre, RS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional.

Orientador:

Carlos André Bulhões Mendes, PhD

Porto Alegre

2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

MARIO, Josiane Paula Martinello

Poluição Atmosférica Como Condicionante no Processo de Ocupação do Espaço Urbano: Análise na Cidade de Porto Alegre, RS. / Josiane Paula Martinello Mario.
-- 2012.
98 f.

Orientador: Carlos André Bulhões Mendes

Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS-,
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano Regional – PROPUR-, Porto Alegre, BR-RS, 2012

JOSIANE PAULA MARTINELLO MARIO

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COMO CONDICIONANTE NO PROCESSO DE
OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO: ANÁLISE NA CIDADE DE PORTO
ALEGRE, RS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano Regional.

Prof. Carlos André Bulhões Mendes
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. João Farias Rovati (PROPUR-UFRGS)

Prof. André Luiz Lopes da Silveira (PROPUR-UFRGS)

Prof. Francisco Carlos Bragança de Souza (IPH-UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço com consideração:

Ao orientador Dr. Carlos André Bulhões Mendes, ao Professor Luis A. Lindau, à Engenheira de Transportes Marta Obelheiro e Daniel Sosa, que dentro de suas áreas de conhecimento contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa e para meu crescimento acadêmico.

Com carinho
ao meu marido Lauro Mario, que incansavelmente dedicou minutos importantes de seus dias a me consolar, apoiar e a fortalecer meus ideais.

aos meus pais
que, com amor, dedicaram seu tempo a me ensinar importantes virtudes de um ser humano.

... a Deus, sobretudo.

RESUMO

MARIO, J.P.M. **Poluição Atmosférica como condicionante no Processo de Ocupação do Espaço Urbano**: Análise na cidade de Porto Alegre, RS. 2012. 98 f. Trabalho de Diplomação (Mestre em Planejamento Urbano e Regional) – Departamento do PROPUR, UFRGS, Porto Alegre.

Este trabalho versa sobre a possibilidade de utilização da dispersão de poluentes como fator limitante à ocupação territorial, sendo esta uma ferramenta de avaliação para o Plano Diretor. O estudo de caso faz referência ao município de Porto Alegre, localizado no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A partir de uma revisão da literatura que aborda a emissão de partículas de gases tóxicos para a atmosfera em centros urbanos, adotaram-se critérios para a escolha de determinadas variáveis meteorológicas, de monitoramento da qualidade do ar, de uma possível fonte emissora e zonas de uso em Porto Alegre. Primeiramente, fez-se a escolha das unidades amostrais para qualidade do ar do município, sendo esta etapa seguida da obtenção dos dados dos critérios anteriormente citados junto aos órgãos competentes, acompanhada por análises estatísticas das diferentes variáveis. Na segunda parte do trabalho fez-se a comparação entre os doze meses do ano por meio de representação gráfica e constatou-se que os níveis de emissão de poluentes nos três diferentes pontos amostrais atingiram seu pico máximo no inverno, quando o vento predominante no município é sudeste, e que sua velocidade varia entre a máxima de 2,46 m/s e a mínima de 1,20 m/s, ainda que o mapa que divide o município de Porto Alegre em zonas de uso não levasse em conta a dispersão dos poluentes (sua direção e os efeitos sobre a saúde da população). Concluiu-se que, mesmo sem a utilização de um software avançado, o trabalho conseguiu mostrar a importância de se utilizar a poluição atmosférica como um condicionante no processo de ocupação urbana no município, isso em decorrência das distâncias em relação ao tempo em que os poluentes atingem o receptor e suas concentrações. Por fim, constata-se que a poluição atmosférica não condiciona a ocupação do espaço urbano, mesmo com uma legislação vigente no município, sendo a ocupação do território urbano basicamente influenciada pelo mercado imobiliário em Porto Alegre, RS.

Palavras-chave: Dispersão de poluentes. Porto Alegre. Plano Diretor.

ABSTRACT

MARIO, J.P.M. **Poluição Atmosférica como condicionante no Processo de Ocupação do Espaço Urbano**: Análise na cidade de Porto Alegre, RS. 2012. 98 f. Trabalho de Diplomação (Mestre em Planejamento Urbano e Regional) – Departamento do PROPUR, UFRGS, Porto Alegre.

This work deals with the possibility of using the dispersion of pollutants as a limiting factor to the territorial occupation, which is a tool for evaluating the Master Plan. The case study refers to the municipality of Porto Alegre, located in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. From the literature review that addresses the particle emission of toxic gases into the atmosphere in urban centers, were adopted criteria for the choice of certain meteorological variables, monitoring of air quality, a possible source of authority and areas of use in Porto Alegre. First became the choice of samples to air quality in the city, and then this step of obtaining data of the criteria mentioned above with the competent organs, accompanied by statistical analysis of the different variables. In the second part of the work, made a comparison between the twelve months of the year by means of graphic representation. It was found that the emission levels of pollutants in three different sample points reached its peak in the winter when the prevailing wind in the city of Porto Alegre is southeast and its velocity varies between the peak of 2.46 m / s and a minimum, 1.20m / s, although the map that divides the municipality into zones of use study did not take into account the dispersion of pollutants (its direction and the effects on the health of the population). We conclude that, even without the use of advanced software, the work was able to show the importance of using air pollution as a determinant in the process of urban settlement in the municipality, that due to the distances from the time that the pollutants reach and concentrations. Finally we note that the city is not prepared enough to deal with pollutants that are emitted daily by the different sources of emissions, even with a legislation that deals with the issue, because often they are influenced by the housing market of Porto Alegre/RS.

Key-words: Dispersion of pollutants. Porto Alegre. Plan.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização de Porto Alegre e Região Metropolitana no Estado do Rio Grande do Sul | 15 |
| Figura 2 - Representação da poluição visual em regiões urbanas | 18 |
| Figura 3 - Representação da inversão térmica | 20 |
| Figura 4 - Classificação das áreas do território nacional pela Resolução CONAMA nº 05/1989 | 28 |
| Figura 5 - Pontos cardeais, colaterais e subcolaterais presentes na rosa dos ventos | 33 |
| Figura 6 - Representação da Camada Limite Planetária | 34 |
| Figura 7 - Fatores a serem considerados na utilização do SIG e diferentes maneiras de representar as respostas de suas análises | 36 |
| Figura 8 - Fluxograma metodológico | 40 |
| Figura 9 - Representação da Rosa dos Ventos utilizada para a localização da direção dos ventos de cada dia do ano analisado | 46 |
| Figura 10 - Representação do gráfico tipo escala acumulativo | 48 |
| Figura 11 - Tela de inicialização do software utilizado na dissertação | 49 |
| Figura 12 - Modelo de pluma gaussiana | 50 |
| Figura 13 - Cálculo para classe de estabilidade σ_y (a) e σ_z (b), para ambiente urbano | 51 |
| Figura 14 - Esquema da programação feita do Scilab | 52 |
| Figura 15 - Representação da direção do vento (setas) e concentração do poluente à medida que se distancia da fonte emissora (isolinhas) | 53 |
| Figura 16 - Localização do município de Porto Alegre em relação ao Estado do Rio Grande do Sul | 54 |
| Figura 17 - Estação de monitoramento meteorológico automático | 56 |
| Figura 18 - Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar no município em estudo e a relação da localização dos dados de fluxo de veículos | 57 |
| Figura 19 - Divisão territorial e zoneamentos de usos para os pontos amostrais das estações de monitoramento de qualidade do ar do município de Porto Alegre, RS | 59 |
| Figura 20 - Amostrador de grande volume HI-VOL (a) e PM-10 (b) | 61 |
| Figura 21 - Representação do equipamento Tri-gás | 61 |
| Figura 22 - Representação comportamental da temperatura ($t^{\circ}\text{C}$) para um ano | 62 |
| Figura 23 - Velocidade média mensal dos ventos para o município de Porto Alegre | 63 |
| Figura 24 - Velocidade média anual de 1999 a 2005 – 8 ^o DISME | 64 |
| Figura 25 - Representação do volume de veículos para intervalos de 15 minutos, nos três pontos amostrais | 65 |
| Figura 26 - Gráfico acumulativo do percentual de veículos ao final de um dia (período de 24 horas) | 68 |
| Figura 27 - Concentração do poluente emitido nos três pontos amostrais de Porto Alegre, RS | 69 |
| Figura 28 - Área de influência do poluente analisado para os três pontos amostrais da cidade de Porto Alegre, RS | 73 |
| Figura 29 - Mapa de conflitos, que focaliza os pontos de monitoramento da qualidade do ar em Porto Alegre, RS | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Relação entre fontes e seus poluentes característicos | 24 |
| Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990) | 29 |
| Tabela 3 - Resumo de requisitos legais sobre poluição atmosférica no Brasil | 29 |
| Tabela 4- Variáveis que compõem as informações meteorológicas | 41 |
| Tabela 5 - Disposições da direção do vento para cada dia do ano | 46 |
| Tabela 6 - Verificação da direção do vento predominante para o ano utilizando-se da MODA | 47 |
| Tabela 7 - Valores iniciais para o gráfico do tipo escala acumulativo | 47 |
| Tabela 8 - Valores para gerar o gráfico pretendido – escala acumulativa | 48 |
| Tabela 9 - Parâmetros de dispersão urbana por Briggs (para distâncias entre 100 e 10.000 metros) | 54 |
| Tabela 10 - Efeito da temperatura sobre as concentrações calculadas para os parâmetros de interesse. Resultados simulados para o caso base. Concentrações em ppm. Os valores entre parênteses são os desvios com respeito ao caso base (temperatura de 20°C) | 63 |
| Tabela 11 - Valores médios da velocidade do vento e direção do vento predominante | 65 |
| Tabela 12 - Concentrações mínimas, médias e máximas do poluente em análise | 71 |
| Tabela 13 - Concentrações do parâmetro analisado nos locais de estudo, segundo a Resolução CONAMA nº 03/1990 | 72 |
| Tabela 14 - Quadro de restrições quanto à implantação de atividades na área de ocupação intensiva | 75 |
| Tabela 15 - Quadro de restrições quanto aos limites de porte na área de ocupação intensiva | 75 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AEROMOD | <i>American Meteorology Society - Environmental Protection Agency - Regulatory Model</i> |
| AOI | Área de Ocupação Intensiva |
| CALPUFF | <i>Califórnia Puff Model</i> |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento do Estado do Rio Grande do Sul |
| CLP | Camada Limite Planetária |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| DECEA | Departamento de Controle do Espaço Aéreo |
| DETRAN | Departamento Estadual de Trânsito |
| DHN | Diretoria da Hidrologia e Navegação |
| EPA | <i>Environmental Protection Agency</i> |
| EPTC | Empresa Pública de Transporte e Circulação |
| FEPAM | Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler |
| IBAMA | Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| NO ₂ | Dióxido de Nitrogênio |
| O ₃ | Ozônio |
| OCD | <i>Offshore and Coastal Dispersion Model</i> |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| ONGs | Organizações Não-Governamentais |
| PDDU | Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano |
| PDDUA | Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental |
| PM ₁₀ | Partículas Inaláveis |
| PPU | Processo de Planejamento Urbano |
| PROCONVE | Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores |
| PRONAR | Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar |
| PTS | Partícula Total em Suspensão |
| RMPA | Região Metropolitana de Porto Alegre |
| SFH | Sistema Financeiro de Habitação |
| SMGP | Sistema Municipal de Gestão do Planejamento |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SMAM | Secretaria Municipal de Meio Ambiente |
| SMP | Secretaria Municipal de Planejamento |
| SO ₂ | Dióxido de Enxofre |
| SSD | Sistemas de Suporte a Decisão |
| UEU | Unidades de Estruturação Urbana |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO TEMA | 13 |
| 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO | 16 |
| 1.2.1 Objetivo | 16 |
| 1.2.2 Justificativa ou relevância | 16 |
| 1.2.3 Estrutura do trabalho | 16 |
| | |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS EM AMBIENTES URBANOS | 18 |
| 2.2 PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO | 21 |
| 2.3 PROCESSOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MEIO URBANO | 22 |
| 2.4 CONDICIONANTES DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO URBANA | 25 |
| 2.5 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COMO INDICADOR DO ORDENAMENTO TERRITORIAL | 26 |
| 2.6 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR | 27 |
| 2.6.1 Como são estabelecidos os padrões de Qualidade | 29 |
| 2.6.2 Legislação do Estado do Rio Grande do Sul | 30 |
| 2.6.3 Legislação do Município de Porto Alegre, RS | 31 |
| 2.7 FERRAMENTAS DE REPRESENTAÇÃO DA DISPERSÃO DO POLUENTE | 32 |
| 2.7.1 Conceitos básicos de Meteorologia | 32 |
| 2.7.1.1 Ventos | 32 |
| 2.7.1.2 Variação temporal e espacial | 32 |
| 2.7.1.3 Rosa dos ventos | 32 |
| 2.7.1.4 Vento predominante (dominante) | 33 |
| 2.7.1.5 Estabilidade e instabilidade da atmosfera | 33 |
| 2.7.2 Conceito introdutório da Modelagem | 34 |
| 2.7.2.1 Camada Limite Planetária (CLP) | 34 |
| 2.7.3 Modelos matemáticos | 34 |
| 2.7.4 Geoprocessamento | 36 |
| 2.7.5 Análises estatísticas | 37 |

| | |
|--|----|
| 3 METODOLOGIA | 39 |
| 3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS | 41 |
| 3.1.1 Dados relacionados à meteorologia | 41 |
| 3.1.2 Dados relacionados ao fluxo de veículos | 41 |
| 3.1.3 Dados relacionados às zonas de uso | 42 |
| 3.1.4 Dados relacionados à qualidade do ar | 43 |
| 3.2 TRATAMENTOS DOS DADOS BRUTOS | 43 |
| 3.2.1 Tratamentos dos dados brutos de temperatura | 44 |
| 3.2.2 Tratamento dos dados brutos de velocidade e direção do vento | 44 |
| 3.2.3 Tratamentos dos dados brutos para volume de veículos | 47 |
| 3.3 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE PROGRAMAÇÃO | 49 |
| 3.3.1 Descrição do software Scilab | 49 |
| 3.3.2 Simulação da dispersão atmosférica | 50 |
| 3.4 APRECIÇÃO DO MAPA DE CONFLITOS | 53 |
| | |
| 4 ESTUDO DE CASO | 54 |
| 4.1 MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, RS | 54 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS | 55 |
| 4.2.1 Dados meteorológicos | 55 |
| 4.2.2 Dados do fluxo de veículos | 56 |
| 4.2.3 Mapa de zonas de uso do município de Porto Alegre, RS | 58 |
| 4.2.4 Qualidade do ar | 59 |
| | |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 62 |
| 5.1 RESULTADO ESTATÍSTICO DOS DADOS COLETADOS | 62 |
| 5.1.1 Dados meteorológicos | 62 |
| 5.1.2 Dados do número de veículos nos três pontos amostrais do município de Porto Alegre, RS – Estudo de caso | 65 |
| 5.1.3 Qualidade do ar | 69 |
| 5.2 RESULTADOS DO SCILAB | 72 |
| 5.3 APRECIÇÃO DO MAPA DE CONFLITOS | 73 |
| | |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 78 |
| 6.1 COTEJAMENTOS DA PESQUISA COM O OBJETIVO PROPOSTO | 79 |
| 6.2 POTENCIALIDADES DO ESTUDO | 79 |
| 6.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PESQUISAS FUTURAS | 80 |
| | |
| REFERÊNCIAS | 81 |
| | |
| ANEXOS | 87 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO TEMA

A presente dissertação trata da efetividade de a poluição atmosférica ser ou não um condicionante no processo de ocupação do espaço urbano. Propõe-se uma abordagem interdisciplinar da questão pelo exame dos conceitos urbanísticos e ambientais. Assim, os objetos de estudo são o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental vigente no município do estudo de caso e as leis ambientais estabelecidas pelo CONAMA. Neste universo situa-se a problemática examinada.

Uma observação prévia faz-se necessária. Considerando seu tema e enfoque, na dissertação propõe-se uma discussão sobre a importância de considerar o estudo da dispersão dos poluentes atmosféricos uma atividade típica na elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de uma cidade.

Conforme Santos e Martins (2002), a cidade é o centro de decisões que representa uma totalidade de relações culturais, políticas, econômicas e sociais condicionadas às leis mercadológicas e às questões ambientais - topografia.

Preocupados com a degradação ambiental, os países desenvolvidos, juntamente com os demais países, realizaram em Estocolmo a Primeira Conferência das Nações Unidas, que colocou a questão ambiental nas agendas oficiais e nas organizações internacionais, enfocando a necessidade de se tomar medidas efetivas de controle dos fatores que causam a degradação ambiental (FREY; CAMARGO, 2003; JACOBI, 1999; JUNQUEIRA, 2002). Barbieri (2004) relata que a Conferência foi marcada pelo antagonismo entre dois blocos: os países desenvolvidos, preocupados com a poluição e o esgotamento de recursos estratégicos, e os demais países, que defendiam o direito de usarem seus recursos para crescer e, assim, ter acesso aos padrões de bem-estar alcançados por populações de países ricos. O autor ainda ressalta que, apesar das divergências, o encontro conseguiu avanços positivos, dentre eles a aprovação da Declaração sobre o Ambiente Humano, um plano de ação constituído de 110 Recomendações, e o início de um envolvimento mais intenso da Organização das Nações Unidas nas questões ambientais de caráter global.

A Segunda Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro, RJ, marcou o início da fase atual das discussões ambientalistas acerca da gestão ambiental global. Este evento contou com a participação de 178 países e a aprovação de documentos importantes relativos aos problemas

socioambientais globais, dentre eles a Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a Convenção sobre Mudanças Climáticas, a Convenção da Biodiversidade e a Agenda 21 (BARBIERI, 2004; FREY; CAMARGO, 2003; MEBRATU, 1998).

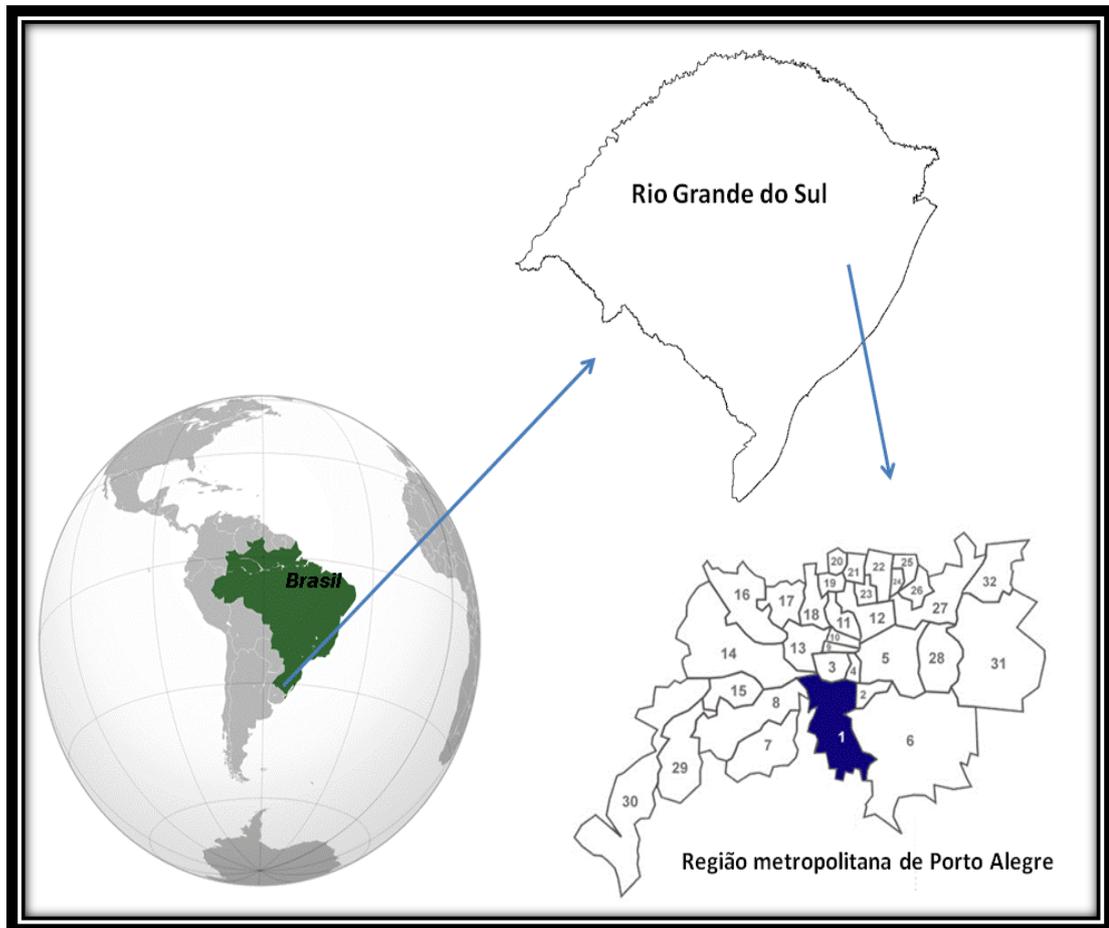
A Rio-92 reafirmou a Declaração da Conferência de Estocolmo – tomando-a como base com o objetivo de estabelecer uma nova e equitativa parceria global mediante a criação de novos níveis de cooperação entre os Estados, os setores-chave da sociedade e as pessoas – e procurou alcançar acordos internacionais em que se respeitassem os interesses de todos e se protegesse a integridade do ambiente e do desenvolvimento global, reconhecendo a natureza integral e interdependente da Terra.

A Agenda 21, uma das principais contribuições desta fase, apresentou Recomendações específicas para os diferentes níveis de atuação, do internacional ao organizacional (sindicatos, empresas, ONGs, instituições de ensino e pesquisa...), sobre assentamentos humanos, erradicação da pobreza, desertificação, água doce, oceanos, atmosfera, poluição e outras questões socioambientais constantes em diversos relatórios, tratados, protocolos e outros documentos elaborados durante décadas pela ONU e outras entidades globais e regionais. Essencialmente, a Agenda 21 é uma consolidação das resoluções já tomadas por tais entidades e estruturadas a fim de facilitar sua implantação nos diversos níveis de abrangência.

Outro grande evento que marcou a discussão acerca dos problemas de cunho ambientalista foi o Protocolo de Kyoto, realizado e aprovado em 1997 na cidade de Kyoto, no Japão, com o objetivo de reduzir, entre os anos de 2008 e 2012, em média 5,2% as emissões da atmosfera dos seis gases que provocam o efeito estufa: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbono, perfluorcarbono e o hexafluorcarbono de enxofre. Apesar de ter sido aprovado no ano de 1997 e de ter gerado grande otimismo, este Protocolo foi inicialmente marcado pela retirada de países importantes, como os Estados Unidos da América do Norte, a China e a Índia. Após sete anos, o acordo foi ratificado juridicamente para os 141 países signatários, em 16 de fevereiro de 2005, visando estabelecer medidas concretas na luta contra o aquecimento global do planeta (REDAÇÃO TERRA, 2005).

Porto Alegre é um município brasileiro e a capital do Estado do Rio Grande do Sul. Pertence à Região Metropolitana de Porto Alegre (Figura 1).

Figura 1 - Localização de Porto Alegre e Região Metropolitana no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Região Metropolitana de Porto Alegre, 2012. Modificado pela autora.

A preocupação ambiental é uma característica observada no processo de evolução da cidade. Em meados de 1914 foi elaborado o Plano Geral de Melhoramento, na tentativa de organizar o crescimento municipal, porém em 1º de dezembro de 1999 foi sancionado o Primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA), proposto como um plano estratégico e ágil que pode ser alterado sempre que a dinâmica urbana assim o exigir, inclusive com as decisões da comunidade.

A partir de 1999, concomitantemente com o crescimento e o desenvolvimento urbano, o município procurou estabelecer, desse período em diante, medidas que amenizassem os impactos negativos decorrentes das ações antrópicas, almejando uma melhoria na qualidade de vida da população.

Partindo do descrito anteriormente, a pesquisa destaca a importância de se considerar o monitoramento da qualidade do ar como um dos itens na elaboração do PDDUA, como instrumento de gestão para condicionar a ocupação do espaço urbano.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

1.2.1 Objetivo

Verificar se a poluição atmosférica condiciona a ocupação do espaço em centros urbanos.

1.2.2 Justificativa ou relevância

O estudo da emissão de gases tóxicos na atmosfera urbana tornou-se importante a partir da Revolução Industrial, quando elevada concentração de compostos tóxicos contribuiu para o aumento no número de problemas respiratórios na população. A partir daí, a presença desses compostos no ambiente urbano foi considerada uma questão de saúde pública.

Estudo realizado na cidade de Curitiba, PR, entre os anos 1999 e 2000, procurou investigar os efeitos desses gases na morbidade por doenças respiratórias em crianças. Os resultados foram surpreendentes, porque todos os poluentes investigados (PM_{10} , NO_2 , O_3 etc.) apresentaram efeitos sobre a saúde das crianças. Um aumento de $40,4 \mu g/m^3$ na média móvel de três dias de fumaça esteve associado a um aumento de 4,5% nas consultas por doenças respiratórias. Isso sugere que a poluição atmosférica promove efeitos adversos para a saúde mesmo quando os níveis dos poluentes estão aquém do que determina a legislação.

Com base nos números alarmantes de morbidade de pessoas por doenças respiratórias, a pesquisa visa auxiliar os municípios no planejamento de uma adequada localização das zonas de uso nas cidades (comercial, industrial e residencial), utilizando-se, para isto, um estudo da dispersão de poluentes atmosféricos em conjunto com análises de acessibilidade urbana e uso do solo associado.

1.2.3 Estrutura do trabalho

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. No primeiro capítulo, que consiste desta introdução, contextualiza-se e delimita-se o tema, define-se o problema, propõe-se o objetivo do estudo e apresenta-se a estrutura do trabalho. O segundo capítulo faz

uma contextualização na fundamentação teórica, descrevendo temas relevantes à compreensão da pesquisa. Os temas trabalhados referem-se à forma como se dá a ocupação do espaço urbano e seus possíveis impactos ambientais, aqui com um item que aborda a poluição atmosférica – tema deste estudo –, entre outros conceitos de significativa importância.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa e foi subdividido em quatro subtítulos, dos quais o primeiro aborda como se deu a obtenção dos dados, o segundo apresenta como se procedeu à pré-análise estatística das informações anteriormente coletadas, seguida da aplicação do modelo de dispersão do poluente, e finaliza com a análise do Mapa 1 (sobreposição da pluma do poluente analisado no mapa do município em estudo) somado à análise do mapa de zonas de uso do mesmo município.

O quarto capítulo descreve a cidade escolhida como estudo de caso para aplicar a metodologia descrita do capítulo três.

O quinto capítulo disserta acerca dos resultados obtidos no trabalho e apresenta as discussões.

O sexto capítulo é subdividido em três itens que tratam das conclusões obtidas com a pesquisa e algumas recomendações, seguidas da potencialidade deste trabalho, encerrando com a exposição das limitações do estudo com recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS EM AMBIENTES URBANOS

É sabido que os aglomerados urbanos são a maior amostra de poder do homem na transformação do ambiente natural por objetivar o desenvolvimento e o crescimento das cidades. Tais transformações afetam diretamente os diferentes aspectos do meio (flora, fauna, relevo, clima e hidrologia), e também afetam o ser humano.

A seguir, descrevem-se os distintos agentes passíveis de conflitos ambientais:

- Poluição sonora – Decorrente do ruído em demasia provocado pelo trânsito de veículos automotores, por indústrias, obras nas ruas e propaganda comercial, entre outras. Esta poluição gera danos aos cidadãos, como estresse, efeitos psicológicos, distúrbios neurológicos, cefaleia e até perda da audição.
- Poluição visual – Ocasionada pelo exagero de cartazes, anúncios e banners dispostos no ambiente urbano (Figura 2), que escondem a fachada de casas e edifícios e, principalmente, a paisagem natural.

Figura 2 - Representação da poluição visual em regiões urbanas



Fonte: Faria, 2009.

- Água e esgoto – Resultante do exagerado consumo de água, somado à poluição dos mananciais (reserva de água) por resíduos domésticos e industriais. Aqui, os sistemas de abastecimento tornam-se cada vez mais caros porque a captação de água potável é realizada em pontos mais distantes do município.
- Congestionamentos frequentes – Decorrente da carência de um adequado sistema de transporte público, o uso do automóvel foi privilegiado para que os habitantes realizem seus deslocamentos. Além disto, a expansão das cidades e a concludente formação de subúrbios distantes do centro propiciaram o aumento da distância percorrida. Vale lembrar que os impactos vão desde a poluição atmosférica por contaminantes tóxicos até acidentes de tráfego, e que a infraestrutura viária construída (pistas expressas, vias elevadas) demanda amplos espaços.
- Carência de arborização – Entende-se por arborização urbana toda cobertura vegetal de porte arbóreo existente nas cidades. As árvores desempenham importante função nas áreas urbanizadas no que se refere à qualidade ambiental, pois elas reduzem os ruídos, servem como quebra-vento (sistema aerodinâmico que atenua o padrão de velocidade média e da turbulência do vento) e evitam erosão.
- Enchentes urbanas – É o transbordamento do leito de rios por receberem um volume de água superior ao que podem comportar. Em áreas urbanas as enchentes ocorrem com maior frequência e força, trazendo grandes prejuízos; decorrem de alterações realizadas em bacias hidrográficas, de construções mal-projetadas de diques e do depósito errôneo de lixo em vias públicas que, com a força das águas, é arrastado causando o entupimento dos locais de saída de água.
- Poluição atmosférica – É o efeito provocado na atmosfera por diferentes elementos sólidos, líquidos ou gasosos provenientes, sobretudo, da atividade antrópica. Concentrações elevadas de gases tóxicos na atmosfera são responsáveis por dar origem ao efeito estufa, a redução da qualidade do ar, problemas de saúde nas pessoas e em todos os demais seres vivos.

Para a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Porto Alegre, poluição atmosférica é a presença de alterações nas propriedades do ar causadas pela ação direta ou indireta do homem, que gera emissões de partículas em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente (ZURITA; TOLFO, 2000).

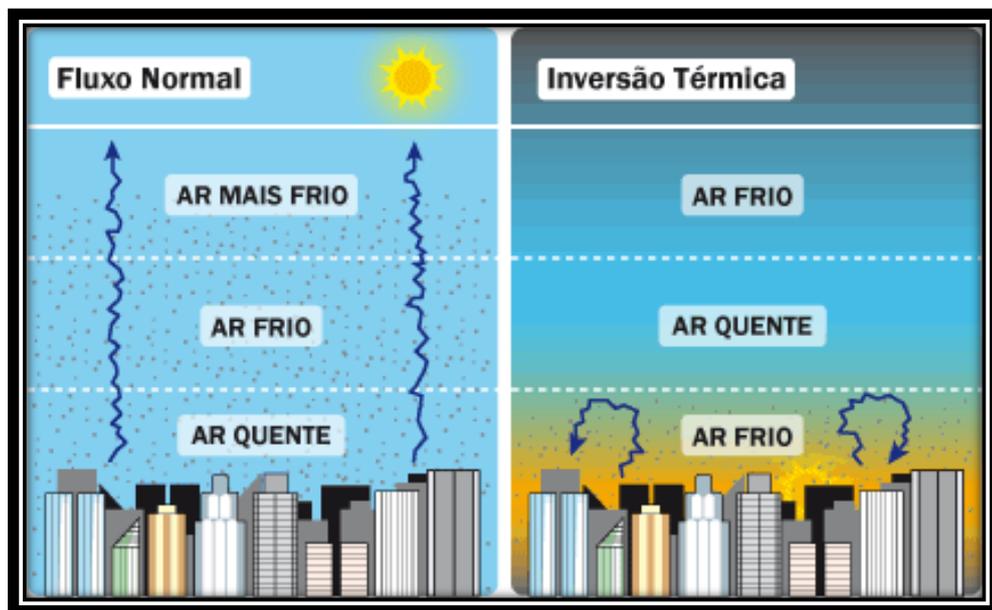
Segundo Resolução nº 003 do CONAMA, de 28 de julho de 1990, a definição de poluição atmosférica é:

[...] qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, que tornem ou possam tornar o ar:

- impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- inconveniente ao bem-estar público;
- danoso aos materiais, à fauna e flora;
- prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (BRASIL, MMA/CONAMA, 1990).

Esta situação se agrava quando ocorre a inversão térmica em ambientes urbanos. Inversão térmica é uma condição meteorológica que ocorre quando uma camada de ar quente se sobrepõe a uma camada de ar frio, impedindo o movimento ascendente do ar. Uma vez que o ar abaixo dessa camada fica mais frio, portanto, mais pesado, os poluentes se mantêm próximos da superfície, como pode ser observado na Figura 3. Por sua característica de potencializar a poluição do ar, o fenômeno afeta diretamente a saúde das pessoas.

Figura 3 - Representação da inversão térmica



Fonte: Indriunas, 2007, [não-paginado].

Nos estudos de impacto da poluição do ar para a localização industrial ou o planejamento de novos distritos industriais, comerciais e/ou habitacionais normalmente se inclui uma descrição das condições meteorológicas e topográficas com o objetivo de determinar a concentração de poluentes que serão emitidos na atmosfera pelas novas

atividades. Deve-se ressaltar que, mesmo mantendo constante a emissão de poluentes, a qualidade do ar pode piorar ou melhorar, dependendo de as condições meteorológicas estarem desfavoráveis à dispersão de poluentes (OLIVEIRA; et al., 1996).

Isto destaca a importância dos estudos sobre a dispersão do poluente no planejamento urbano¹, ponderando melhores locais para a viabilidade de crescimento da cidade, criando zonas de uso no município e assegurando o bem-estar social a toda a comunidade.

2.2 PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO

O estudo da produção do espaço representa a análise das formas e das funções de cada lugar da cidade e das transformações territorioambientais a ela associadas decorrentes do intenso processo de urbanização, que é responsável por um novo arranjo territorioambiental.

Para compreender o processo de produção do espaço urbano de uma cidade, faz-se necessário considerar as relações sociais de trabalho no processo produtivo geral da sociedade e seus reflexos no processo de ocupação (reprodução) do espaço, ao longo da história vivida por seus habitantes.

A desestabilização do setor produtivo é um dos fatores que acarretam a busca por espaços mais compatíveis com as novas condições de vida na região, acelerando o processo de periferização e a conseqüente (re)produção de espaços urbanos insustentáveis. Se, por um lado, se abrem espaços públicos, se socializa a vida urbana e se tem um aumento da oferta de serviços e de equipamentos coletivos, por outro lado se agrava o número de pessoas cujo direito a esses benefícios é expressamente vedado. Significa dizer que a sociedade constrói o espaço partindo da contradição entre o processo produtivo socializado e sua apropriação privada (MOREIRA; et al., 2005).

Dentro da perspectiva exposta, segue-se com a concepção de Corrêa (1995) de que o espaço urbano capitalista é um produto social, resultado de ações acumuladas pelo tempo e fabricadas por agentes que produzem e consomem o espaço. São agentes sociais concretos.

A ação desses delegadores é complexa: deriva da dinâmica de acumulação de capital, das necessidades mutáveis de reprodução das relações de produção e dos conflitos sociais que dela emergem.

¹ Processo de criação e desenvolvimento de programas que buscam melhorar a qualidade de vida da população, numa dada área urbana, listando basicamente processos de produção, estruturação e apropriação do espaço.

Analisando as questões já citadas, é possível considerar que os investimentos públicos, geralmente, visam garantir a reprodução do capital por meio da infraestrutura, conduzindo o uso e a ocupação do solo urbano. O Poder Público atua como mediador entre a sociedade e o capital, gerenciando os conflitos que possam interferir na realização do ciclo do capital. Neste contexto, as relações de produção manifestam-se através dos conflitos e contradições inerentes à sociedade, que são vinculados à divisão territorial do trabalho, à distribuição de renda, ao acesso à infraestrutura, aos serviços e bens de consumo (CARLOS, 1997).

2.3 PROCESSOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MEIO URBANO

As transformações provocadas nos ecossistemas e geossistemas, diretamente associadas às construções de áreas urbanizadas e, indiretamente, pela ação de influência e relações nos processos de poluição, caracterizam a importância da realização desta pesquisa. A afirmação é firmada com base no fato de, em meados do século XX, serem já conhecidas as agruras da falta de água potável e de alimentos, mas julgava-se que o ar necessário para a respiração dos seres humanos e de outros seres vivos nunca deixaria de estar disponível de forma adequada à manutenção da vida. Contudo, a qualidade do ar tornou-se uma das maiores preocupações nesta virada de século devido ao aumento da concentração de substâncias tóxicas lançadas diariamente para a atmosfera (OLIVEIRA, 1997), criando uma espécie de *atmourbesfera*² (MENEGAT, 2005).

Em Portugal, os problemas de qualidade do ar não afetam o território de uma forma sistemática. Níveis elevados desses compostos são encontrados em algumas áreas onde é maior a concentração urbana e a presença de grandes unidades industriais.

Em decorrência da circulação de alguns poluentes na atmosfera por largos períodos de tempo, a poluição atmosférica apresenta um caráter transfronteiras, sendo responsável por alterações em nível planetário, o que obriga à conjugação de esforços no nível internacional.

Conforme o artigo 1º, Parágrafo único, da Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006, “os limites de emissão são fixados por poluente e por tipologia de fonte” (BRASIL, MMA/CONAMA, 2006).

² *Atmourbesfera*: sistema físico urbano global/cidade-mundi. Aqui está incluso o artefato urbano, ou sistema construído (formado predominantemente de concreto); dinâmicos eventos urbanos (sistemas técnico-industriais, químicos etc.) e esferas planetárias modificadas, assimiladas e apropriadas pela cidade ao longo do tempo (MENEGAT, 2005).

O tema poluição atmosférica no município de Porto Alegre, RS, é tratado no Decreto nº 9.325, de 30 de novembro de 1988. Suas atribuições referenciam o controle e as correções das situações de geração de transtornos atmosféricos causados por atividades industriais e/ou de serviços, de maneira a proteger a qualidade do meio ambiente.

Para efeitos do Decreto, são aplicáveis as seguintes definições no artigo 2º:

I - transtornos atmosféricos: presença na atmosfera de materiais ou formas de energia que impliquem em riscos ou moléstias graves para pessoas e bens de qualquer natureza, bem como alterem as condições de qualidade do ar.

II - nível de emissão: a concentração de cada contaminante emitido na atmosfera, num período determinado, medido nas unidades de aplicação que correspondem a cada um deles.

III - padrões de qualidade do ar: limites máximos permissíveis de concentração de poluentes na atmosfera.

IV - padrões para emissões de efluentes: condições a serem atendidas para lançamento de poluentes na atmosfera.

V - incineradores: equipamentos ou dispositivos utilizados com o objetivo de promover a queima de resíduos.

VI - medidas de emergência: conjunto de providências adotadas pelo Executivo para evitar a ocorrência de episódios críticos de poluição atmosférica, ou impedir a sua continuidade.

VII - episódio crítico de poluição atmosférica: presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em decorrência de condições meteorológicas desfavoráveis, à dispersão dos mesmos (PORTO ALEGRE, PM, 1988).

Neste Decreto, o dispositivo emissor de gases tóxicos geralmente se dá por meio de fontes estacionárias³, fontes difusas⁴ e fontes naturais⁵. A Tabela 1, na página a seguir, enquadra as fontes descritas e apresenta os principais poluentes originários. Para realizar o dimensionamento do dispositivo de emissão desses gases tóxicos é exigido um conhecimento da física atmosférica da região e das características do terreno no entorno, por influenciar diretamente no comportamento da pluma e no grau de contaminação do ambiente.

Cada cidade é composta por um mosaico de microclima diferente; os mesmos fenômenos que caracterizam o mesoclima urbano existem em miniatura por toda a cidade. O mesoclima urbano forma pequenas ilhas de calor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais de fluxo dos ventos.

Hoje, é muito investigada a compatibilidade entre verticalização, alta densidade ocupacional e manutenção da ventilação em áreas urbanas sob determinadas condições, porque nesses ambientes se criam microclimas urbanos até então inexistentes.

³ Fontes estacionárias: emissão proveniente de centrais elétricas e termoelétricas, instalação de produção, fornos industriais e domésticos, entre outros.

⁴ Fontes difusas: emissão proveniente de fontes em movimento, como o tráfego rodoviário, aéreo, marítimo e fluvial, incluindo as emissões sonoras e térmicas.

⁵ Fontes naturais: ocorrem sem interferência da ação humana, resultantes de erupções vulcânicas, descargas elétricas, processos de decomposição e queimadas.

Tabela 1 - Relação entre fontes e seus poluentes característicos

| Fontes | | Poluentes |
|----------------------|--|---|
| Fontes estacionárias | Combustão | Material particulado |
| | | Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre |
| | | Monóxido de carbono |
| | | Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio |
| | Processo industrial | Material particulado (fumos, poeiras e névoas) |
| | | Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e Hidrocarbonetos |
| | | Mercaptans, HF, H ₂ S, NO _x |
| | Queima de resíduos sólidos | Material particulado |
| | | Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x |
| | Outros | Hidrocarbonetos, material particulado |
| Fontes móveis | Veículos automotores | Material particulado, monóxido de carbono |
| | | Óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre |
| | Aviões e barcos | Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio |
| Locomotivas etc. | Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos | |
| Fontes naturais | | Material particulado – poeiras |
| | | Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x , hidrocarbonetos |
| Reações químicas | | Poluentes secundários – O ₃ , aldeídos |
| | | Ácidos orgânicos, nitratos orgânicos |
| | | Aerossol fotoquímico etc. |

Fonte: São Paulo, CETESB, 2002.

A concentração de determinada substância na atmosfera varia no tempo e no espaço em função das reações químicas e/ou fotoquímicas, dos fatores meteorológicos (ventos, turbulência e inversões térmicas) e da topografia da região. Neste sentido, a condição meteorológica tem papel determinante na descrição fisicoquímica do transporte de poluentes entre a fonte emissora e seu receptor. Deste modo, as análises dos dados meteorológicos, a definição dos períodos críticos, o monitoramento dos poluentes e a modelagem matemática para simulação da qualidade do ar são ferramentas importantes para o estabelecimento de planos de controle de poluição do ar em novas atividades industriais (OLIVEIRA; et al., 1996). Ainda para os autores, o objetivo de utilizar modelos matemáticos para simular a dispersão de um contaminante atmosférico é o de determinar a concentração de partículas emitidas na atmosfera por novas atividades industriais. Ressaltam, porém, que, mesmo mantendo constante a concentração do poluente, a qualidade do ar pode piorar ou melhorar, dependendo de as condições meteorológicas serem favoráveis ou desfavoráveis à dispersão de poluentes.

2.4 CONDICIONANTES DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO URBANA

No Brasil, a ocupação urbana foi marcada por um processo acelerado de transformações. A transição urbana, ou seja, a passagem de população predominantemente rural para urbana, ocorreu em ritmo acelerado neste país e também nos demais países latino-americanos. A partir de 1960, a população rural brasileira se manteve estável (na casa dos 38 milhões), enquanto a população urbana, que era de 31 milhões em 1960, passou a ser de 80 milhões em 1980. Neste ritmo acelerado, planejar o crescimento da cidade apresentava desafios de ordem mais imediata, considerando a demanda por moradia e espaço urbano.

A demanda por moradia e espaço público desencadeou um processo de verticalização nos centros urbanos, elevando o custo da terra e, de certa forma, levando a população mais carente a se alocar em suas periferias.

Infelizmente, o mercado imobiliário é determinante no processo de ocupação urbana e, muitas vezes, traz consequências negativas para a sociedade. Quando a ocupação urbana é desordenada, problemas viários, sanitários, ambientais e de segurança tornam mais difícil de ser solucionado o acesso a estes serviços.

Outro exemplo de processo de expansão contemporâneo ocorrente no Brasil são os chamados condomínios e loteamentos fechados que, embora fossem direcionados a um público de média e alta renda, tem hoje o acesso possibilitado à população de baixa renda. Trata-se de um novo padrão de consumo do espaço urbano que se opõe ao período de verticalização da década de 70, onde residir em um prédio no centro da cidade representava status social. Os condomínio e loteamentos fechados representam, portanto, uma mudança no padrão de ocupação presente e futura.

Em consequência da horizontalização, os custos sociais de implantação de serviços públicos tornam-se mais elevados, incentivando o uso de automóveis particulares, visto que é pouco atrativo economicamente para as empresas concessionárias de transporte público assumir linhas de transporte em locais com baixo volume regular de passageiros. Em termos de fatores ambientais, esta nova frota veicular aumenta as emissões de gases de efeitos estufa.

É visível a dificuldade do Poder Público para manter uma fiscalização ativa no que se refere à ocupação urbana. Em parte, isso se deve às ocupações irregulares, nem sempre originadas pela população de baixa renda, uma vez que existem diversos empreendimentos imobiliários de padrão médio instalados sem as devidas licenças, e em parte por *lobbies* das corporações imobiliárias, que conseguem desarticular planos diretores e leis de zoneamento urbano de acordo com seus interesses econômicos.

Um bom exemplo desta ocupação urbana é perceptível na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. Estudos apontam a existência de diversos fatores que explicam o expressivo processo de ocupações neste local (SILVA, 2006). Segundo a autora, o primeiro fator é a promoção imobiliária da região; o segundo, a enorme concentração de terras nas mãos de apenas quatro grandes proprietários; o terceiro, os investimentos do Governo Federal, por meio dos recursos do SFH (Sistema Financeiro de Habitação) nas décadas de 70 e 80, beneficiando a produção imobiliária das grandes incorporadoras na região; o quarto, os massivos investimentos públicos em obras de infraestrutura viária entre 1966 a 1982, facilitando o acesso ao bairro (LEITÃO; REZENDE, 1995). Assim, o conjunto de investimentos na Barra da Tijuca, sejam públicos, sejam privados para atender às necessidades da indústria imobiliária permitem compreender a vertiginosa expansão demográfica nesse bairro da cidade do Rio de Janeiro, podendo o exemplo ser observado em outras localidades do globo.

Outras condicionantes para a ocupação do solo nos espaços urbanos e urbanizáveis relacionam-se com:

- a) compatibilidade da intervenção com o uso dominante;
- b) áreas de proteção ou patrimônio edificado;
- c) serviços de utilização pública;
- d) leitos dos cursos de água.

Conforme Souza et al. (1983), a disponibilidade dos recursos naturais renováveis de um território, os parâmetros geomorfológicos e geológicos, o clima e a história da rápida evolução dos municípios dentro de um contexto econômico são condicionantes no processo de ocupação do espaço urbano. Um bom exemplo é o caso do município de Bragança Paulista, no Estado de São Paulo, que explica sua rápida evolução (expansão da cidade) segundo o contexto do ciclo do café no século XIX (BUENO; et al., 2007).

2.5 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COMO INDICADOR DO ORDENAMENTO TERRITORIAL

Um indicador, de modo geral, é entendido como uma variável de representação de um atributo (qualidade, características, propriedades) de sistema.

Os indicadores constituem um componente de avaliação espacial de extrema importância e podem desencadear processos de observação territorial coerente e adequada à realidade espacial. Revelando-se determinantes na resolução de problemas relacionados com o processo de ordenamento do território e planejamento ambiental de cidades, permitem

sustentar o processo de tomada de decisão, avaliando a informação e convertendo-a numa série de medidas úteis e significativas que reduzem as probabilidades de decisões desastrosas.

É possível, com isso, verificar que a expansão de áreas urbanizadas ocasiona o aumento da concentração de gases emitidos por diferentes fontes para a atmosfera, resultando na alteração das características físicas, químicas ou biológicas do meio.

O campo de ordenamento territorial urbano, com a distribuição espacial adequada das fontes emissoras de compostos químicos, tem sido objeto de várias reflexões teóricas e práticas favorecido, sobretudo, por sua aplicabilidade no que se refere ao planejamento urbano.

O Código Estadual do Meio Ambiente, instituído pela Lei Estadual nº 11.520, de 3 de agosto de 2000, estabelece critérios de utilização e conservação do ar, através do Capítulo III – Da Utilização e Conservação do Ar, subdivididos em nove artigos dos quais se transcrevemos dois mais importantes:

Art. 149 – Estabelece Classes de Uso, para o território do Rio Grande do Sul, visando à implementação política de preservação de deterioração significativa da qualidade do ar. As classes aqui definidas são:

- I- **Área Classe I:** são classificadas todas as áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Unidades de Conservação, estância hidrominerais e hidrotermais (nacionais, estaduais e municipais) onde deverá ser mantida a qualidade do ar sem a intervenção da atividade humana;
- II- **Área Classe II:** são assim classificadas todas as áreas não classificadas como I ou III;
- III- **Área Classe III:** são assim classificadas todas as áreas que abrigam Distritos Industriais criados por legislação própria.

[...]

Art. 153 - Determina que as fontes emissoras de poluentes atmosféricos, em seu conjunto, localizadas em áreas de Distrito Industrial, classificadas como Classe III, deverão lançar seus poluentes em quantidades e condições tais que: não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos *padrões primários*⁶ de qualidade do ar, dentro dos limites geográficos do Distrito Industrial; e não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos *padrões secundários*⁷ de qualidade do ar, fora dos limites geográficos do Distrito Industrial (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

2.6 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Para Lisboa e Kawano (2007), o padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, garantindo a proteção da saúde e do bem-estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos

⁶ Padrões primários: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Art. 2º da Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990 (BRASIL, MMA/CONAMA, 1990).

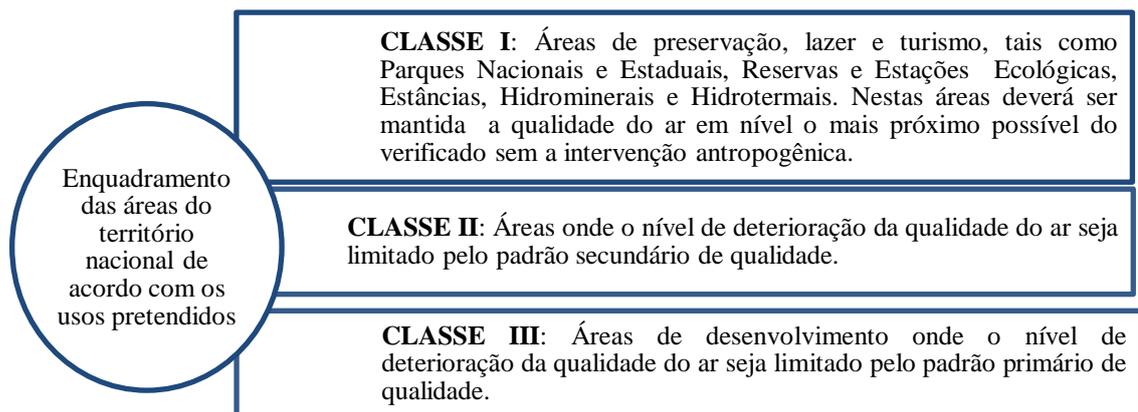
⁷ Padrões secundários: são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (Idem).

científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Através da Portaria Normativa nº 348, de 14 de março de 1990, e da Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990, o IBAMA estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar. No Brasil, são estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para a política de preservação da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados a áreas de preservação, como prevê a Resolução CONAMA nº 003/90. A aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III, conforme o uso pretendido (Figura 4).

Figura 4 - Classificação das áreas do território nacional pela Resolução CONAMA nº 05/1989



Fonte: Brasil, MMA/CONAMA, 1989.

A mesma Resolução prevê que os padrões aplicáveis serão os primários enquanto não for estabelecida a classificação das áreas. São poluentes padronizados no Brasil: partículas totais em suspensão; fumaça; dióxido de enxofre; partículas inaláveis; monóxido de carbono; ozônio; e dióxido de nitrogênio.

Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990, são apresentados na Tabela 2, a seguir. Esta Resolução estabelece também os níveis de qualidade do ar para a elaboração do Plano de Emergência em Episódios Críticos de Poluição do Ar (Tabela 3), visando providenciar medidas que previnam os riscos à saúde da população.

Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 003/1990)

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽⁴⁾ | Padrão secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽⁴⁾ | Método de medição |
|--------------------------------|-------------------------|--|--|-------------------------------|
| Partículas totais em suspensão | 24 horas ⁽¹⁾ | 240 | 150 | Amostradores de grande volume |
| | MGA ⁽²⁾ | 80 | 60 | |
| Dióxido de Enxofre | 24 horas ⁽¹⁾ | 365 | 100 | Pararosanilina |
| | MAA ⁽³⁾ | 80 | 40 | |
| Monóxido de Carbono | 1 hora ⁽¹⁾ | 40.000 (35 ppm) | 40.000 (35 ppm) | Infravermelho não dispersivo |
| | 8 horas ⁽¹⁾ | 10.000 (9ppm) | 10.000 (9ppm) | |
| Ozônio | 1 hora ⁽¹⁾ | 160 | 160 | Quimiluminescência |
| Fumaça | 24 horas ⁽¹⁾ | 150 | 100 | Refletância |
| | MAA ⁽³⁾ | 60 | 40 | |
| Partículas inaláveis | 24 horas ⁽¹⁾ | 150 | 150 | Separação Inercial/Filtração |
| | MAA ⁽³⁾ | 50 | 50 | |
| Dióxido de Nitrogênio | 1 hora ⁽¹⁾ | 320 | 190 | Quimiluminescência |
| | MAA ⁽³⁾ | 100 | 100 | |

(1) Não deve ser excedido mais que vez no ano.
(2) Média geométrica anual (MGA).
(3) Média aritmética anual (MAA).
(4) A condição de referência para as concentrações é de 25°C e pressão de 760 mmHg (1.013,2 miligramas).

Fonte: Brasil, MMA/CONAMA, 1989.

Tabela 3 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA nº 003/1990)

| Parâmetros | Níveis | | |
|--|---------------|----------------|-------------------|
| | ATENÇÃO | ALERTA | EMERGÊNCIA |
| Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)-24h | ≥ 800 | ≥ 1.600 | ≥ 2.100 |
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)-24h | ≥ 375 | ≥ 625 | ≥ 875 |
| SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) -24h | ≥ 65.000 | ≥ 261.000 | ≥ 393.000 |
| Monóxido de Carbono (ppm) – 8h | ≥ 15 | ≥ 30 | ≥ 40 |
| Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1h | $\geq 400^*$ | ≥ 800 | $\geq 1.000^{**}$ |
| Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) -24h | ≥ 250 | ≥ 420 | ≥ 500 |
| Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) -24h | ≥ 250 | ≥ 420 | ≥ 500 |
| Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1h | ≥ 1.130 | ≥ 2.260 | ≥ 3.000 |

*O nível de atenção de ozônio declarado pela CETESB, com base na legislação estadual de São Paulo, é mais restritivo (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
** O nível de emergência de ozônio declarado pela CETESB, com base na legislação estadual de São Paulo, é menos restritivo (1.200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Fonte: Brasil, MMA/CONAMA, 1989.

2.6.1 Como são estabelecidos os padrões de Qualidade

Após a observação sobre os efeitos dos poluentes na saúde humana, incluindo os danos ao ambiente, os pesquisadores fixaram valores indicadores de que a saúde da população não estaria sendo gravemente afetada.

Com o desenvolvimento e o crescimento dos grandes centros, estes valores têm sofrido alterações (segundo a riqueza do país e as forças políticas envolvidas nas discussões). Um capítulo da Constituição Brasileira de 1988 dedicado exclusivamente ao tema estabelece o direito da população de viver em um ambiente ecologicamente equilibrado e caracteriza como crime toda e qualquer ação lesiva ao meio ambiente.

Na Tabela 4 é possível verificar a evolução dos requisitos legais em nível nacional relacionados com o tema tratado nesta dissertação.

Tabela 4 - Resumo de requisitos legais sobre poluição atmosférica no Brasil

| Ano | Requisito legal | Descrição |
|------------|---------------------------------------|--|
| 1976 | Portaria MINTER nº 231 27/04/1976 | Estabelece padrões de qualidade do ar e diretrizes sobre controle da poluição do ar. |
| 1986 | Resolução CONAMA nº 18 06/05/1986 | Institui o PROCONVE – Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores. |
| 1989 | Resolução CONAMA nº 05 15/06/1989 | Institui o PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do ar. |
| 1990 | Resolução CONAMA nº 03 28/06/1990 | Estabelece novos padrões de qualidade do ar (como estabelecia a Portaria MINTER nº 231/1976). |
| 1990 | Resolução CONAMA nº 08 06/12/1990 | Estabelece limites máximos de emissão de poluentes no ar (padrões de emissão) para processos combustão externa em fontes fixas por faixa de potência |
| 1999 | Resolução CONAMA nº 264 26/08/1999 | Estabelece para co-processamento em fornos rotativos de clínquer: Critérios para utilização de resíduos; Limites de emissão e monitoramento ambiental. |
| 2002 | Resolução CONAMA nº 316 29/10/2002 | Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. |
| 2006 | Resolução CONAMA nº 382 26/12/2006 | Estabelece os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos para fontes fixas. |

Fonte: Brasil, MMA/CONAMA.

2.6.2 Legislação do Estado do Rio Grande do Sul

O Estado do Rio Grande do Sul não difere de outros Estados brasileiros que possuem uma instituição com legislações específicas que aborda a temática qualidade do ar. A instituição sulriograndense é a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler), e a legislação vigente é a Lei Estadual nº 11.520, de 3 de agosto de 2000.

A FEPAM é um órgão executivo do Sistema Estadual de Proteção Ambiental, que prevê a ação integrada dos órgãos ambientais do Estado em articulação com o trabalho dos municípios. No Rio Grande do Sul, os municípios são responsáveis pelo licenciamento ambiental das atividades de impacto local. A definição destas atividades e o regramento do processo de descentralização do licenciamento foram estabelecidos pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA).

2.6.3 Legislação do Município de Porto Alegre/RS

O Decreto nº 9.325, de 30 de novembro de 1988, regulamenta a Lei Complementar nº 65, de 22 de dezembro de 1981, em relação à emissão de poluentes atmosféricos no Município de Porto Alegre e dá outras providências. Tem como objetivo controlar e corrigir as situações de geração de transtornos atmosféricos causados por atividades industriais e/ou de serviços, de maneira a proteger a qualidade do meio ambiental.

Neste sentido, o Capítulo III – Dos Padrões de Qualidade do Ar cita:

Art. 16 - Para efeito de controle da qualidade do ar do Município de Porto Alegre, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente estabelece os seguintes parâmetros, baseados na Legislação Federal:

I - Partículas em suspensão:

- a) uma concentração média geométrica anual de 80 microgramas por m³;
- b) uma concentração média diária de, no máximo, 240 microgramas por m³ e que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;
- c) método de referência: método de amostragem de grandes volumes, ou equivalentes.

II - Dióxido de enxofre:

- a) uma concentração média aritmética anual de 80 microgramas por m³ (0,03ppm);
- b) uma concentração média diária de, no máximo, 365 microgramas por m³, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;
- c) método de referência: Método de Pararosanilina ou equivalente.

III - Monóxido de carbono:

- a) uma concentração média em intervalo de 08 horas, de no máximo 10.000 microgramas por m³ (9ppm) e que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;
- b) uma concentração média horária de, no máximo, 40.000 microgramas por m³ (35 ppm) e que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;
- c) Método de referência: Método de Absorção de Radiação Infravermelho não Dispersivo ou equivalente.

IV - Oxidantes fotoquímicos:

- a) uma concentração média horária de no máximo, 160 microgramas por m³ (0,08 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;
- b) método de referência: Método de Luminescência Química, ou equivalente.

Parágrafo único - Todas as medidas de qualidade do ar deverão ser corrigidas para a temperatura de 25°C e pressão absoluta de 760 mm de mercúrio (PORTO ALEGRE, PM, 1988).

2.7 FERRAMENTAS DE REPRESENTAÇÃO DA DISPERSÃO DO POLUENTE

A compreensão de alguns conceitos que referenciam poluição atmosférica torna-se importante neste momento da pesquisa para o melhor entendimento dos resultados nela obtidos e sua relação com o zoneamento do espaço urbano contido no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental.

2.7.1 Conceitos básicos de Meteorologia

2.7.1.1 Ventos

Fluxo geral de ar sobre a terra induzido por variações de pressão de grande escala comumente apresentadas em cartas meteorológicas. A intensidade dos sistemas de pressão e seu posicionamento normal ou trajetórias determinam a distribuição dos ventos em uma dada área.

Dentro deste macrossistema há vários fatores que influenciam as particularidades do movimento de ar nas direções vertical e horizontal e, para muitos problemas de poluição atmosférica, o que importa é a combinação de padrões gerais e particulares.

2.7.1.2 Variação temporal e espacial

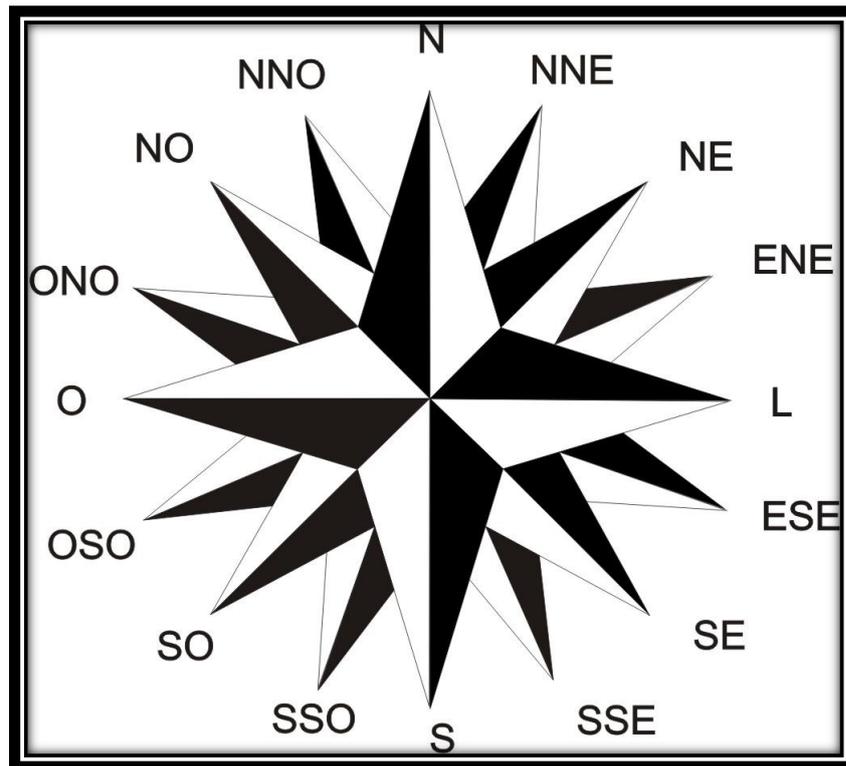
Os movimentos dos sistemas de pressão, o aquecimento diurno e o resfriamento da superfície da terra produzem padrões característicos que geralmente são apresentados na forma de uma “rosa dos ventos”. Nestes diagramas polares, as frequências das várias direções (setores) observadas são proporcionais ao comprimento dos raios, e a distribuição das velocidades em cada direção (setor) é indicada pelos comprimentos dos segmentos individuais de cada raio.

2.7.1.3 Rosa dos ventos

A necessidade de localizar-se e orientar-se no espaço geográfico é de grande relevância para o homem e suas atividades. Todos os meios de orientação, desde a utilização de astros e estrelas até o GPS (Sistema de Posicionamento Global), contribuíram com as navegações, com as rotas comerciais e muitas outras aplicações.

Existem diversas formas de orientação; uma delas é a dos pontos cardeais, pontos básicos para determinar as direções concebidas a partir da posição na qual o Sol se encontra durante o dia. Para uma localização mais precisa são usados os pontos colaterais e subcolaterais.

Figura 5 - Pontos cardeais, colaterais e subcolaterais presentes na rosa dos ventos



Fonte: Freitas, 2011.

2.7.1.4 Vento predominante (dominante)

A direção predominante em uma rosa dos ventos é geralmente chamada de “vento predominante”.

2.7.1.5 Estabilidade e instabilidade da atmosfera

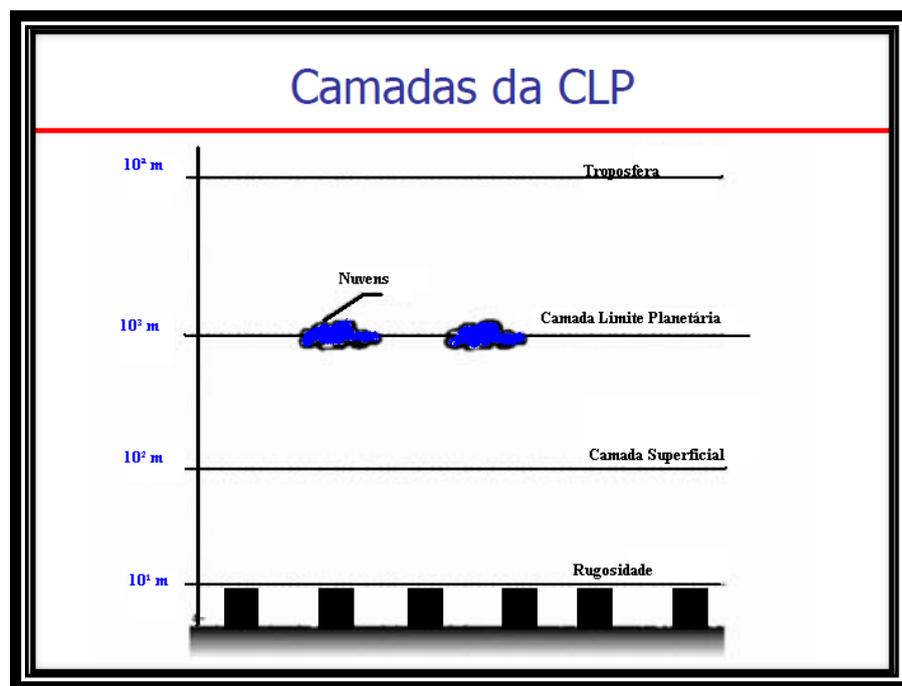
Em termos simples, a estabilidade da atmosfera é sua tendência a resistir ou a intensificar o movimento vertical, ou alternativamente suprimir ou aumentar a turbulência existente.

2.7.2 Conceito introdutório da Modelagem

2.7.2.1 Camada Limite Planetária (CLP)

Definida como a parte da troposfera que é diretamente influenciada pela presença da superfície da terra e cujos tempos de resposta são da ordem de uma hora ou menos, sua espessura fica entre 1 a 3 km, adjacente à superfície terrestre (Figura 6).

Figura 6 - Representação da Camada Limite Planetária



Fonte: Elaborada pela autora.

2.7.3 Modelos matemáticos

Um modelo matemático representa um instrumento técnico por simular matematicamente o caminho preferencial ou o comportamento de partículas mediante condições meteorológicas locais. Os resultados apresentados pelos cálculos numéricos estimam o campo de concentração de um poluente em particular para regiões e tempos específicos.

As concentrações e os tipos de poluentes presentes na atmosfera dependem da matéria-prima empregada, do tipo de combustível utilizado, dos subprodutos gerados pelo processo e do próprio produto formado.

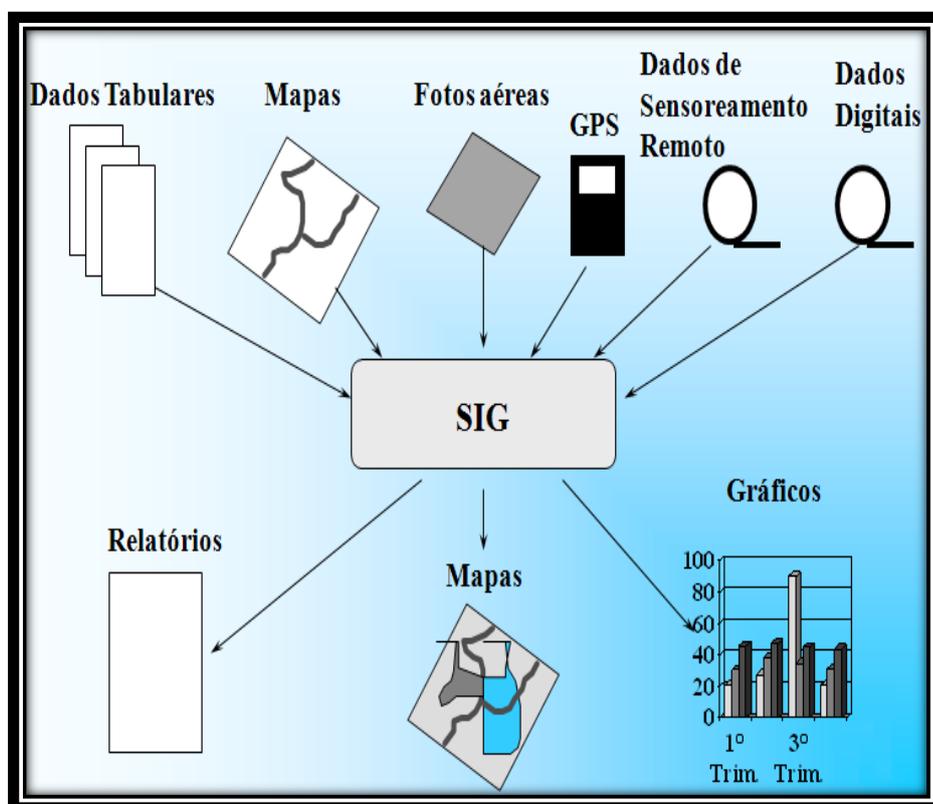
Entre os modelos matemáticos que representam as concentrações encontram-se:

- Euleriano – Constitui o modelo de aproximação matemática mais simples por ignorar a estrutura espacial do fenômeno. Assume que os poluentes são distribuídos uniformemente, muito utilizados para simular a concentração de contaminantes na camada mais próxima ao solo.
- Lagrangeano – É eficiente na investigação dos processos de dispersão de partículas na atmosfera por reproduzir de maneira direta o escoamento passivo da pluma, evitando, desta maneira, as incertezas numéricas. Atualmente, nesta classe estão inseridos os modelos que acompanham a nuvem de poluente em “elementos” discretos, como segmento “puff”.
- Gaussiano – Assume que as emissões apresentam um caminho preferencial mediante condições meteorológicas. Podem ser estacionários – independente do tempo –, considerados “modelos pluma”, representando o vento e o coeficiente de difusão constante com a altura da fonte. É utilizado em diferentes condições: cidades, topografia complexa, onde geralmente não é possível ter acesso a dados meteorológicos (TIRABASSI, 2005).
Para o modelo gaussiano estão aqui descritas algumas formulações, disponíveis no site <<http://www.weblakes.com/products/screen/index.html>>.
- AERMOD (*American Meteorology Society – Environmental Protection Agency Regulatory Model*) – Determina a concentração de poluentes associados a diferentes fontes em complexos industriais. Este modelo inclui: deposição seca e úmida, fontes pontuais, de linha, área e volume, incorporando efeitos de elevação da pluma e um limitado ajuste ao relevo do terreno.
- OCD (*Offshore and Coastal Dispersion Model*) – Determina o impacto de emissões *offshore* a partir de fontes pontuais, de linha ou de áreas em regiões costeiras.
- CALPUFF (*California Puff Model*) – Modelo não-estacionário do tipo *puff*, recomendado para simular dispersão em relevos relativamente complexos, onde a variação espacial e temporal dos dados meteorológicos é importante, incluindo a transformação e a remoção de poluentes. É recomendado para estudos de dispersão em grandes distâncias (>10 km da fonte).

2.7.4 Geoprocessamento

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) expressa a ideia de integração de dados espaciais e atributos alfanuméricos de informação que permitem a captura, a modelagem, a manipulação, a recuperação, a análise e a apresentação dos dados geograficamente referenciados (Figura 7).

Figura 7 - Fatores a serem considerados na utilização do SIG e diferentes maneiras de representar as respostas de suas análises



Fonte: Elaborada pela autora.

Uma característica importante do SIG (CHARLOT; et al., 2002) é sua capacidade de preencher a lacuna técnica entre a necessidade de analisar e os tomadores de decisão, permitindo o fácil entendimento da informação. Isto decorre da possibilidade de representação do mundo real (solo, geomorfologia, ocupação do solo, hidrografia, fontes de poluentes etc.) com um dado propósito.

Para que o SIG possa representar o mundo real, é necessária uma sequência de atividades caracterizadas por: coleta, tratamento, armazenamento, análise, produção e representação de dados. Normalmente, a fonte de coleta de dados ocorre através do

sensoriamento remoto (fotografias aéreas ou imagens de satélite), seguido de dados digitais e/ou mapas da área a ser estudada. Após o tratamento e a armazenagem dos dados é realizada sua análise.

Conforme Oliveira (1997), existe uma relação das diversas áreas de aplicação de SIG, divididas aqui em cinco grupos principais: ocupação humana; uso da terra; uso de recursos naturais; atividades econômicas; e meio ambiente.

A integração de diversos planos de informação através da ferramenta SIG permite o desenvolvimento de Sistemas de Suporte a Decisão (SSD); estes sistemas computacionais têm por objetivo auxiliar o usuário na missão de fazer apontamentos a respeito de um assunto específico.

2.7.5 Análises estatísticas

Na prática, os biólogos são chamados com frequência para tomar decisões acerca de populações e de outros temas com base nas informações das amostras. As decisões são denominadas *estatísticas*. Utilizam-se essas teorias probabilísticas para melhor embasar a frequência com que ocorre determinado evento, tanto em estudos observacionais como em experimentos que modelam a aleatoriedade e a incerteza, de forma a estimar ou possibilitar a previsão de fenômenos.

Caracterizada como um instrumento importante na pesquisa científica, a análise estatística é utilizada principalmente no tocante ao planejamento dos experimentos, à análise dos dados e à interpretação dos resultados. Contudo, lembra-se que o uso de análises e testes estatísticos pouco adequados a determinados tipos de tratamento avaliados nos experimentos acarreta perda de informação, de qualidade de alguns trabalhos publicados e, por sua vez, permite conclusões que não refletem as verdadeiras respostas.

A coleta, a organização, a descrição dos dados, o cálculo e a interpretação de coeficientes pertencem à Estatística Descritiva, enquanto a análise e a interpretação dos dados, associadas a uma margem de incerteza, ficam a cargo da Estatística Indutiva ou Inferencial, também chamada de medida da incerteza ou de métodos que se fundamentam na teoria da probabilidade.

A utilização de tabelas e gráficos é frequente na Estatística. As tabelas servem para organizar e tabular os dados, e os gráficos transmitem as informações com clareza e transparência, contribuindo para uma leitura mais objetiva.

Quando se tem uma amostra representativa da informação com que se deseja trabalhar, a partir deste momento os dados podem dar origem a diversas relações estatísticas como, por exemplo, média aritmética, mediana, moda, variância, desvio padrão etc.

Segundo Spiegel (1976), como esses valores típicos de média tendem a se localizar em um ponto central, dentro de um conjunto de dados ordenados segundo suas grandezas, as médias também são denominadas *medidas de tendência central*.

A média pode ser bem representada por \bar{X} e definida por:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} = \frac{\sum X}{N}$$

Spiegel (1976) coloca MODA como um valor que ocorre com maior frequência num conjunto de números, sendo também o mais comum. A MODA pode tanto não existir como pode, também, não ser representada por um único valor.

A medida de dispersão mais usada, que pode ser considerada como uma medida de variabilidade dos dados de uma distribuição de frequência, é o desvio padrão. Ele mede a dispersão dos valores individuais em torno da média. Para seu cálculo, deve-se obter a média da distribuição e, a seguir, determinar os desvios para mais e para menos a partir dela. Assim, o desvio padrão é a média quadrática dos desvios em relação à média aritmética de uma distribuição de frequências; ou seja, é a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios, esses tomados a partir da média aritmética.

A fórmula para representar o desvio padrão em um conjunto de dados observados é a seguinte:

$$\text{Desvio padrão} = \sqrt{\frac{\sum (xi - x)^2}{N - 1}}$$

3 METODOLOGIA

Tendo em vista o objetivo, a hipótese formulada e as abordagens teóricas que procuram explicar as relações socioambientais no processo de planejamento do espaço urbano frente à poluição atmosférica como condicionante, foram definidas variáveis para a realização deste estudo.

A metodologia proposta consiste basicamente em quatro etapas:

- 1) Obtenção de dados (meteorológicos, de fluxo de veículos, zonas de uso e qualidade do ar) junto aos órgãos competentes.
- 2) Tratamento dos dados brutos (média, soma, MODA etc.).
- 3) Utilização do software de programação Scilab.
- 4) Apreciação do Mapa de Conflitos (análise da sobreposição dos mapas – área de influência do poluente somado ao mapa de bairros do município em estudo) na análise do zoneamento urbano da cidade escolhida para o estudo de caso.

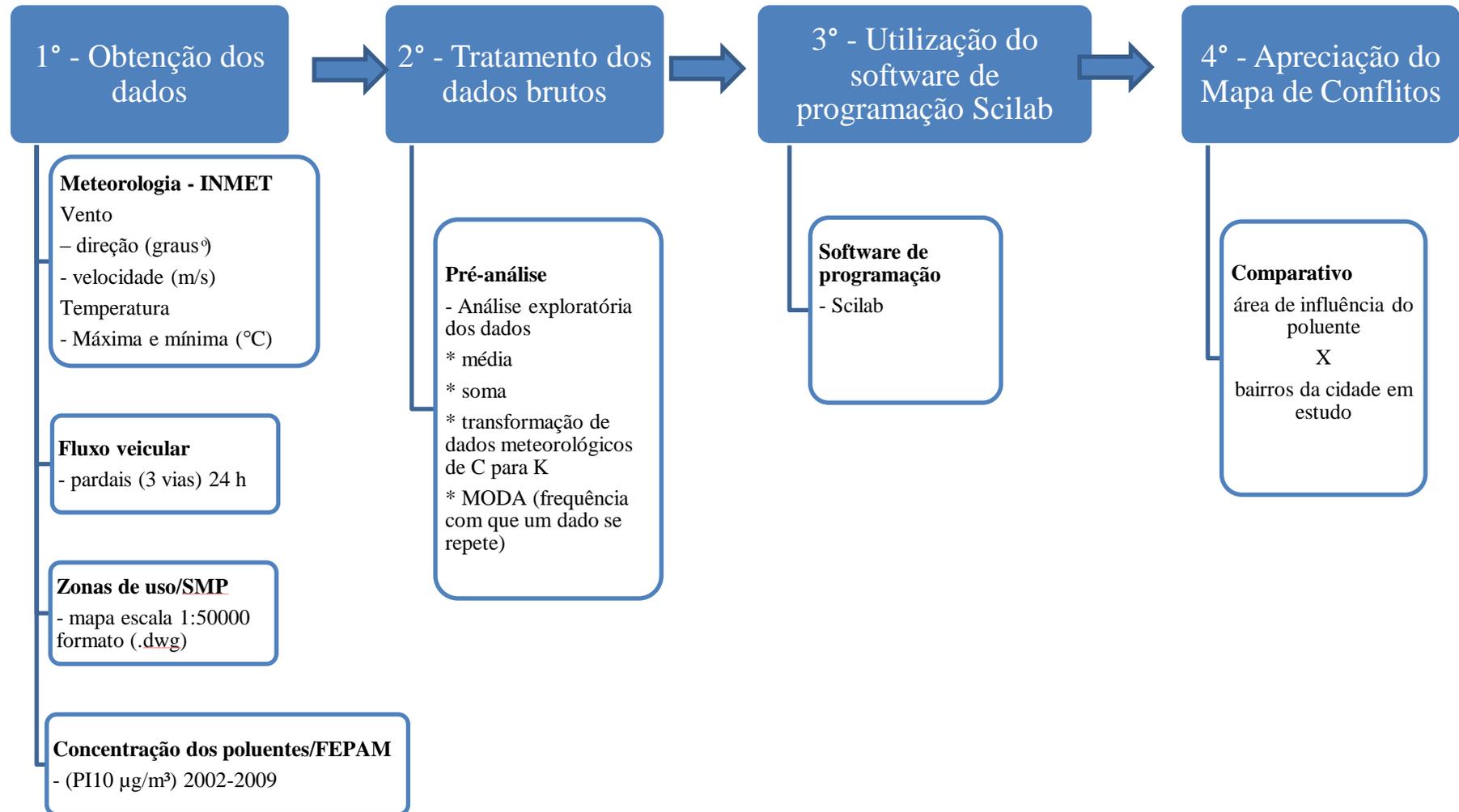
A partir dos dados disponíveis para a área, definiram-se as diretrizes que direcionaram a análise na pesquisa realizada.

Fez-se necessária a equalização das variáveis para um único dado que representasse o montante mensal para caracterizar representativamente a dispersão do poluente na atmosfera através do modelo de dispersão. Para tanto, o modelo deveria ser sensível a algumas características peculiares, como rugosidade do terreno e presença da verticalização das habitações dispostas em centros urbanos.

A partir dos resultados, foram estabelecidas possíveis zonas de influência do poluente. O resultado da modelagem foi plotado sobre a cidade utilizada no estudo de caso, buscando representar o pior cenário de concentração de partículas contaminantes lançadas diariamente por uma única fonte emissora em centros urbanos (veículos). A metodologia utilizada na pesquisa busca confirmar, ou não, a hipótese de que os poluentes atmosféricos condicionam a ocupação do espaço urbano, sendo estes utilizados na elaboração de Planos Diretores.

A Figura 8 ilustra a metodologia utilizada na pesquisa, que está descrita com maior riqueza de detalhes a seguir.

Figura 8 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a realização da pesquisa utilizaram-se informações de temperatura, direção e velocidade do vento, além de dados sobre a frota de veículos da respectiva concentração de poluentes de partículas inaláveis.

3.1.1 Dados relacionados à Meteorologia

A fixação de uma estação meteorológica junto ao equipamento de monitoramento da qualidade do ar é caracterizada por uma ação fundamental para determinar adequadamente a qualidade do ar em diferentes localidades dos centros urbanos. As variáveis que constituem informações meteorológicas utilizadas na pesquisa encontram-se resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Variáveis que compõem as informações meteorológicas

| Dados meteorológicos | | |
|----------------------|------------|----------|
| Vento | direção | grau (°) |
| | velocidade | (m/s) |
| Temperatura | máxima | T (°C) |
| | mínima | |

Fonte: Elaborada pela autora.

3.1.2 Dados relacionados ao fluxo de veículos

O fluxo de veículos corresponde ao número de automóveis/dia (24 horas) que trafegam em determinado local.

A obtenção dos dados acerca do fluxo de veículos não foi caracterizada como ensaio, visto que se computou apenas o número de carros que circulavam na via, sem considerar a categoria a que pertencem (leves ou pesados), o ano, e se tinham sido submetidos à inspeção veicular, conforme está previsto na Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986, que dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE:

- Veículo leve: veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar até doze passageiros ou com massa total máxima igual ou inferior a 2.800 quilogramas (= ou > 2.800 kg).
- Veículo pesado: veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar mais que doze passageiros ou com massa total máxima superior a 2.800 quilogramas (BRASIL, MMA/CONAMA, 1986).

3.1.3 Dados relacionados às zonas de uso

As zonas de uso são concebidas de acordo com os seguintes conceitos básicos.

- I – Cidade Miscigenada: caracterizada pela presença de diferentes atividades em todo o território, desde que compatíveis com condicionantes paisagísticos, ambientais, infraestruturais ou com outras atividades instaladas.
- II – Policentralidade: conjunto de espaços urbanos que configura a distribuição das centralidades.
- III – Centralidade: a qualidade de um espaço dito central que reúne características próprias de densificação, fluxos, animação, miscigenação, acessibilidade e tipo de infraestrutura, que podem se apresentar em diferentes graus de hierarquias constituindo centralidades de caráter metropolitano, urbano, regional ou local.
- IV – Incômodo: estado de desacordo de alguma atividade com condicionantes locais como vivências sociais, qualidade ambiental e/ou outras atividades vizinhas.
- V – Impacto: repercussão, positiva ou negativa, ocasionada pela implantação de uma atividade específica no ambiente, na estrutura ou na infraestrutura da cidade, no bairro ou na região.
- VI – Manutenção do Patrimônio Ambiental do município através da preservação dos bens naturais e culturais.
- VII – Estímulo à produção primária.

Ainda segundo o Plano Diretor, as zonas de uso representam parcelas do território municipal propostas com as mesmas características em função de peculiaridades a serem estimuladas nas áreas descritas abaixo:

- I – Áreas Predominantemente Residenciais: zonas da cidade onde se estimula a vida de bairro, com atividades complementares à habitação e demais atividades não-residenciais controladas quanto a incômodo e a impacto;
- II – Áreas Miscigenadas: ocupação estimulada igualmente para atividades residenciais e comércio, serviços e indústrias, distribuindo-se, com relação ao uso, em diferentes categorias que representam graus de restrição diferenciados quanto ao porte e à variedade de atividades:
 - a) Mista 1 e Mista 2 – Zonas de maior diversidade urbana em relação às áreas predominantemente residenciais onde se estimula, principalmente, o comércio varejista, a prestação de serviços e demais atividades compatíveis que representam apoio à atividade habitacional e ao fortalecimento de centralidades.

- b) Mista 3 e Mista 4 – Zonas com estímulo à atividade produtiva e à geração de postos de trabalho associados à atividade habitacional, onde a diversidade proposta apresenta níveis mais significativos de interferência ambiental, representando, também, maiores potencialidades de impacto.
- c) Mista 5 – Zonas de diversidade máxima, onde todas as atividades são permitidas, sendo o uso habitacional somente admitido por meio de Projetos Especiais de Impacto Urbano (PORTO ALEGRE, 2010).

3.1.4 Dados relacionados à qualidade do ar

A verificação da influência das concentrações do poluente (partícula inalável) sobre a qualidade do ambiente urbano analisado demandou um conjunto de prescrições matemáticas. Utilizando tais prescrições, foi necessária a uniformização das unidades de dados para bem representar o pior cenário de concentração de poluentes na atmosfera.

Os dados das concentrações da qualidade do ar são calculados com base na equação (3.1), descrita abaixo.

$$C_{pm} = \frac{(mf - mi)}{V_p} * 10^6 \quad (3.1)$$

Onde:

C_{pm}- concentração de massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

mf – mi - massa final e inicial do filtro (g);

V_p - volume do ar total amostrado nas condições padrões (m^3).

3.2 TRATAMENTOS DOS DADOS BRUTOS

A análise exploratória de dados caracteriza-se por um conjunto essencial e indispensável de ferramentas que permitem organizar, resumir e interpretar dados rapidamente, sem procedimentos estatísticos complicados. Há, naturalmente, várias expectativas ou hipóteses em relação aos resultados, se se confirmam ou não.

3.2.1 Tratamentos dos dados brutos de temperatura

Seguindo o pressuposto da pré-análise como anteriormente descrita, a equação (3.2) é utilizada para a obtenção do valor da temperatura média do dia, conforme sugerido pelo INMET (2010).

$$MD = \frac{(2 * t^{\circ}C00h + t^{\circ}C12h + t^{\circ}Cmáx + t^{\circ}Cmín)}{5} \quad (3.2)$$

Onde:

MD – média/dia

T°C00h – temperatura em graus Celsius às 00 hora do dia (°C)

T°C12h – temperatura em graus Celsius às 12 horas do dia (°C)

T°Cmáx. – temperatura máxima do dia (°C)

T°Cmín. – temperatura mínima do dia (°C).

Num segundo momento utilizou-se esta média/dia para obter o valor de média/mês para os dados de temperatura. O valor foi calculado utilizando-se a equação (3.3), descrita abaixo.

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n MD \quad (3.3)$$

Onde:

\bar{T} – Temperatura média do mês

N – Número de temperaturas do mês

T – Temperatura do dia.

3.2.2 Tratamento dos dados brutos de velocidade e direção do vento

Para os valores referentes à velocidade do vento foi empregado o sistema das equações (3.4) e (3.5), descritas a seguir, obtendo-se o valor final de média/mês.

É importante destacar que a primeira fórmula proposta se fez indispensável, pois a estação de monitoramento meteorológico computa dois valores para um mesmo dia, estes correspondendo a 00hora e 12horas.

$$\overline{VD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n VD_i \quad (3.4)$$

Onde:

\overline{VD} – Velocidade média do vento do dia

n – Número de velocidades do vento do dia

VD_i – Velocidades.

$$\overline{VM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overline{VD}_i \quad (3.5)$$

Onde:

\overline{VM} – Velocidade média do mês

n – Número de velocidades do mês

\overline{VD} – Velocidade média do dia.

Quanto ao dado de direção do vento, utilizou-se o sistema equacional descrito abaixo, obtendo o valor final de média aritmética/mês. As equações (3.6) e (3.7) são imprescindíveis para a obtenção de um único valor, visto que a estação de monitoramento computa dois valores para um mesmo dia. Estes valores correspondem a 00hora e 12horas.

$$\overline{DV} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DV_i \quad (3.6)$$

Onde:

\overline{DV} – Direção média do vento no dia

n – Número de direções do vento no dia

DV_i – Direções do vento.

$$\overline{DM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overline{DV}_i \quad (3.7)$$

Onde:

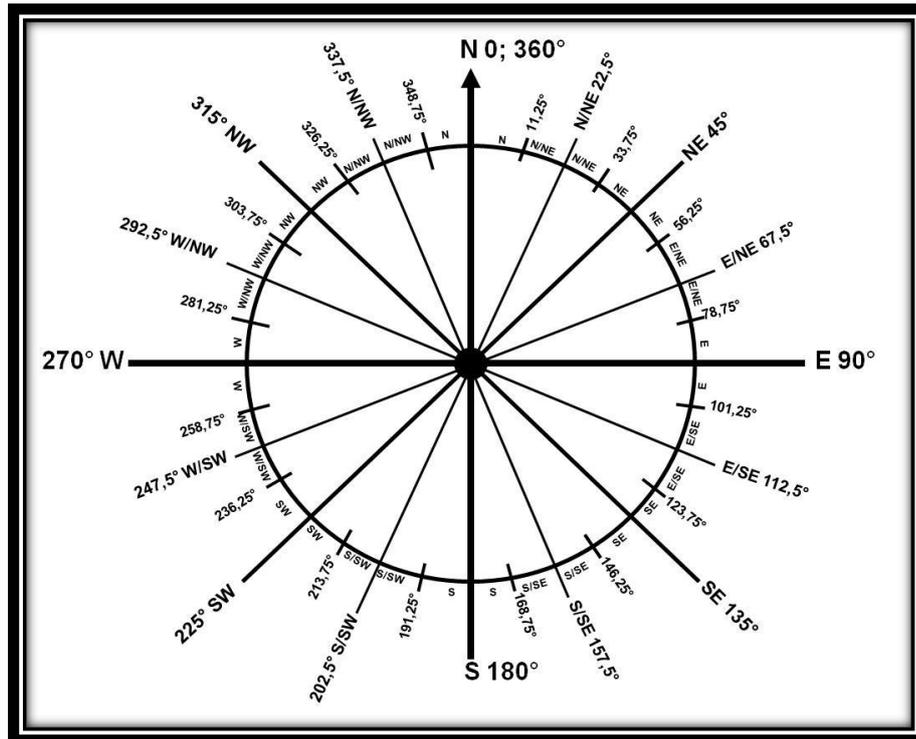
\overline{DM} – Direção média do vento para o mês analisado

n – Número de direções do vento no mês

\overline{DV}_i – Direção média do vento no dia.

Todavia, para melhor representar a direção do vento, o segundo passo foi construir uma rosa dos ventos em graus (°) (Figura 9) e nela fixar a direção do vento para cada dia do ano na direção correspondente. Estes dados estão representados na Tabela 5.

Figura 9 - Representação da Rosa dos Ventos utilizada para a localização da direção dos ventos de cada dia do ano analisado



Fonte: Lakes Environmental, 2012.

Tabela 5 - Disposições da direção do vento para cada dia do ano

| | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maió | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|----|---------|-----------|-------|-------|------|-------|-------|--------|----------|---------|----------|----------|
| N | 3 | 5 | 5 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3 | 3 |
| NE | 5 | 8 | 5 | 7 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| E | 13 | 4 | 13 | 11 | 15 | 16 | 11 | 15 | 18 | 13 | 15 | 8 |
| SE | 23 | 22 | 18 | 17 | 12 | 15 | 13 | 15 | 16 | 23 | 19 | 34 |
| S | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0 | 2 | 4 | 6 | 6 | 2 |
| SW | 4 | 0 | 2 | 4 | 4 | 7 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 |
| W | 4 | 3 | 2 | 0 | 4 | 5 | 6 | 3 | 7 | 5 | 2 | 5 |
| NW | 4 | 9 | 3 | 10 | 14 | 5 | 8 | 7 | 5 | 5 | 3 | 1 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Posteriormente à identificação da direção do vento para cada dia do ano, fez-se uso da MODA no EXCEL, retomando o valor que ocorreu com maior frequência em uma matriz (Tabela 6). A direção do vento predominante para o ano pode ser observada na tabela.

Tabela 6 - Verificação da direção do vento predominante para o ano utilizando-se da MODA

| | Moda |
|----|------|
| N | 3 |
| NE | 5 |
| E | 13 |
| SE | 23 |
| S | 3 |
| SW | 2 |
| W | 5 |
| NW | 5 |

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.3 Tratamentos dos dados brutos para volume de veículos

Os dados de fluxo veicular para os diferentes pontos amostrais foram obtidos dos controladores eletrônicos de velocidade (pardais) nas vias de interesse. Tais informações correspondem a um período de 24 horas, sendo o montante analisado em intervalos de 15 minutos. O segundo passo foi gerar um gráfico do tipo escala acumulativo para verificar a similaridade comportamental das três vias de interesse. Para tanto, adotou-se o procedimento descrito a seguir.

Primeiramente, foi selecionado o número de horas necessárias para desenvolver a pesquisa. Em seguida, o número de veículos que trafegavam naquele intervalo de tempo nos diferentes pontos amostrais completou a Tabela 7, sendo estes somados para que se pudesse verificar quanto veículos haviam passado nessas vias. Para a verificação dos valores utilizou-se a função SOMA descrita na equação (3.8), logo a seguir.

Tabela 7 - Valores iniciais para o gráfico do tipo escala acumulativo

| Horas de análise | A | | B | | C | |
|------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Nº de veic. | Rep. Em % | Nº de veic. | Rep. Em % | Nº de veic. | Rep. Em % |
| 1h | 2 | 8% | 1 | 5,26% | 1 | 20% |
| 2h | 5 | 21% | 18 | 94,74% | 1 | 20% |
| 3h | 7 | 29% | 0 | 0% | 1 | 20% |
| 4h | 8 | 33% | 0 | 0% | 1 | 20% |
| 5h | 2 | 8% | 0 | 0% | 1 | 20% |
| Total | 24 | 100% | 19 | 100% | 5 | 100% |

Fonte: Elaborada pela autora.

$$Vt = \sum_{i=1}^n Vi \quad (3.8)$$

Onde:

Vt – Volume total de veículos

n – Número de veículos que trafegavam na via.

Num segundo momento, a utilização do valor - fruto da soma total de veículos - e os dados que compunham cada intervalo de hora resultaram na representação em porcentagem de veículos que trafegavam na via, devendo o valor chegar sempre a um montante de 100%.

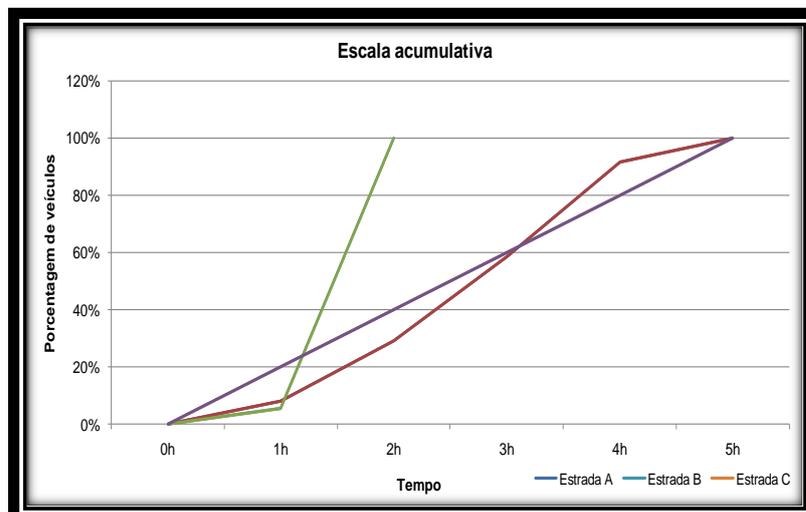
Como o gráfico necessário para tal representação é do tipo escala acumulativo, foi necessária, para seu término, a soma do primeiro valor em porcentagem de veículos com o segundo, e assim sucessivamente, totalizando 100%, como segue na Tabela 8, gerando ao término desta análise o gráfico inicialmente objetivado (Figura 10).

Tabela 8 - Valores para gerar o gráfico pretendido – escala acumulativa

| 24 horas | Estrada A | Estrada B | Estrada C |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| 0h | 0% | 0% | 0% |
| 1h | 8% | 5,26% | 20% |
| 2h | 29,17% | 100% | 40% |
| 3h | 58,33% | | 60% |
| 4h | 91,67% | | 80% |
| 5h | 100% | | 100% |

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 10 - Representação do gráfico tipo escala acumulativo



Fonte: Porto Alegre, EPTC, 2010. Modificado por Mario, 2010.

3.3 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE PROGRAMAÇÃO

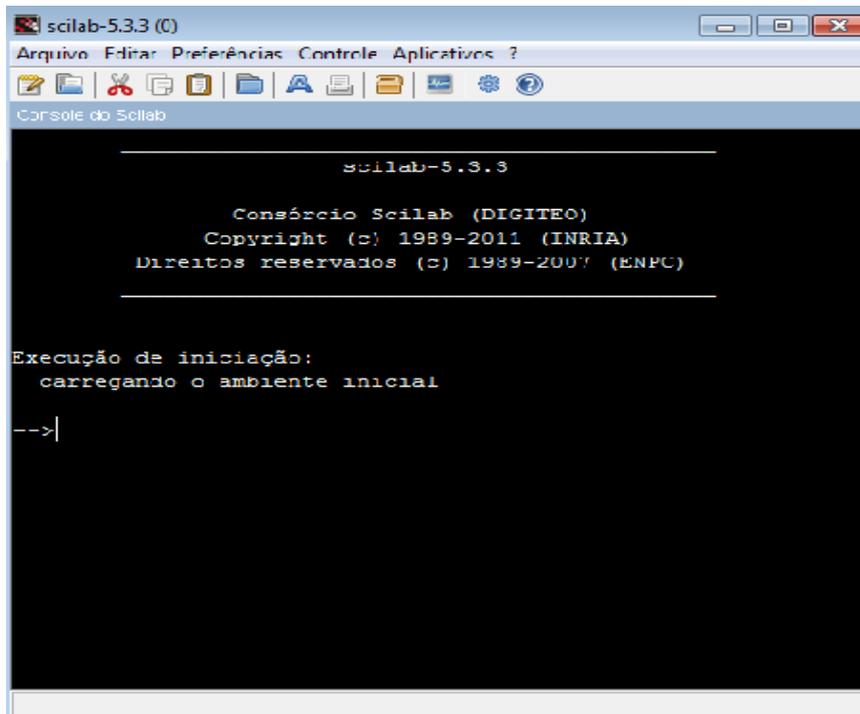
Fez-se uso do Scilab para melhor compreender a dinâmica da dissipação das partículas de poluentes na atmosfera urbana. O intuito da utilização deste software é simular a direção em que o poluente está se movendo e em que concentração, verificando quais seriam as localidades receptoras das partículas.

A escolha do Scilab deve-se ao fato de ele ser utilizado para estimar a concentração do poluente ao nível do solo de uma área única (fonte), assim como as concentrações na zona da cavidade. O resultado final da programação permite uma visualização de cenários com maior ou menor concentração do poluente analisado e sua direção.

3.3.1 Descrição do software Scilab

Scilab é um ambiente de programação numérica bastante flexível. Caracteriza-se pela linguagem simples e por possuir um sistema de auxílio ao usuário: *help*. O *prompt* é representado por uma seta, -->, e o cursor é representado pelo símbolo / (Figura 11).

Figura 11 - Tela de inicialização do software utilizado na dissertação



Fonte: Scilab, 2010.

Scilab é um ambiente para a resolução de problemas numéricos. A integração do usuário com o Scilab pode ocorrer de duas formas distintas. Na primeira, os comandos são digitados diretamente no *prompt* do software. Ao ser pressionada a tecla *Enter*, os comandos digitados são interpretados e imediatamente executados. Neste modo de utilização, Scilab funciona como uma sofisticada e poderosa calculadora. Na segunda forma, um conjunto de comandos é digitado em um arquivo texto. Este arquivo, em seguida, é levado ao ambiente Scilab e executado. Neste modo, o Scilab funciona como um ambiente de programação.

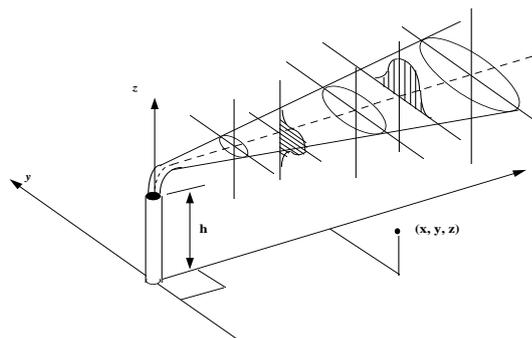
Uma de suas características importantes é permitir que o usuário crie seus próprios programas, pois disponibiliza a maioria das estruturas das linguagens de programação convencional. A diferença principal é que na programação Scilab não há a necessidade de se declarar previamente os tipos das variáveis que serão utilizadas ao longo do programa. Um fator a ser levado em consideração é que o Scilab é um interpretador de comandos.

3.3.2 Simulação da dispersão atmosférica

Para esta pesquisa em particular, as estações de monitoramento da qualidade do ar foram consideradas como fontes emissoras de partículas de poluentes ao invés de receptoras. Sendo assim, tais amostradores de grande volume passam a representar uma fonte pontual no ambiente urbano.

Utilizando a equação gaussiana, esta etapa busca representar a direção e a intensidade da pluma na atmosfera. Uma substância emitida pelas fontes poluidoras dispersa-se muito facilmente em decorrência da difusão turbulenta causada pelo cisalhamento do vento e pela variação da temperatura na CLP (Camada Limite Planetária). No modelo matemático utilizado assumiu-se que a emissão de poluentes na fonte pontual foi transportada pelo vento em uma pluma contínua, e que as concentrações desses compostos correspondem à gaussiana.

Figura 12 – Modelo de pluma gaussiana



Fonte: Medeiros, 2003.

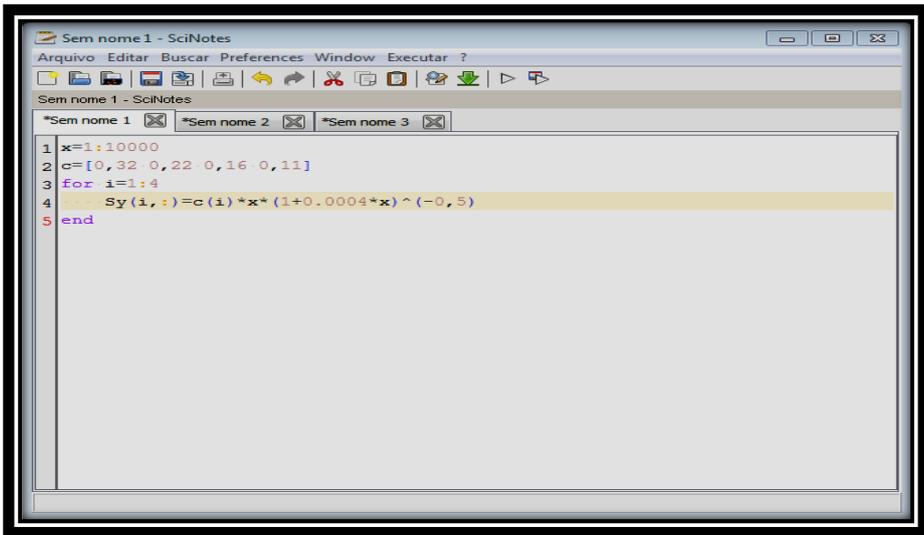
Inicialmente, foram calculados os parâmetros σ_y e σ_z , para cada classe de estabilidade atmosférica, conforme a Tabela 9 e a Figura 13 (a) (b). O coeficiente de dispersão horizontal (σ_y) e vertical (σ_z) pode ser estimado utilizando-se o modelo de Briggs (1974). Os resultados são válidos para distâncias de no máximo 10 km.

Tabela 9 - Parâmetros de dispersão urbana por Briggs (para distâncias entre 100 e 10.000 metros)

| Categoria | σ_y | Σz |
|-----------|-----------------------------------|------------------------------------|
| A – B | $0,32 \times (1+0,0004 x)^{-0,5}$ | $0,24 \times (1+ 0,001 x)^{-0,5}$ |
| C | $0,22 \times (1+0,0004 x)^{-0,5}$ | 0,20 x |
| D | $0,16 \times (1+0,004 x)^{-0,5}$ | $0,14 \times (1+0,0003 x)^{-0,5}$ |
| E – F | $0,11 \times (1+0,0004 x)^{-0,5}$ | $0,08 \times (1+ 0,0015 x)^{-0,5}$ |

Fonte: Zannetti, 1990.

Figura 13 - Cálculo para classe de estabilidade σ_y (a) e σ_z (b), para ambiente urbano

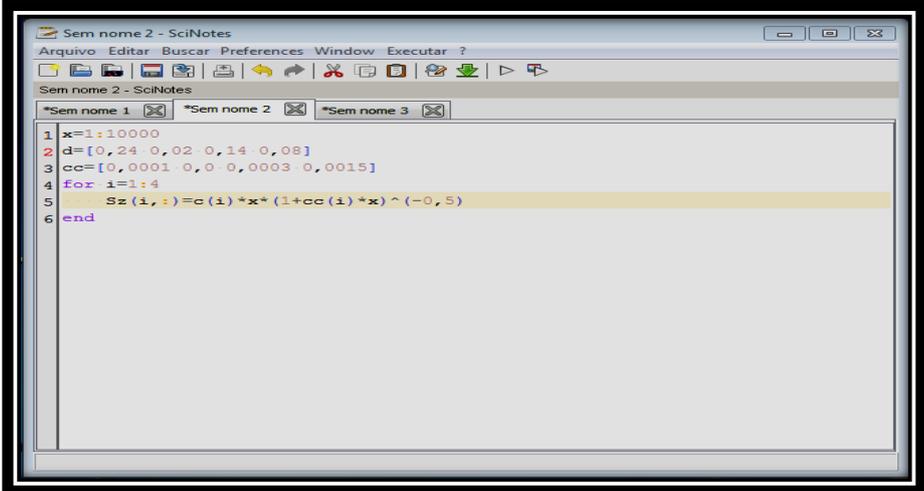


```

1 x=1:10000
2 c=[0,32 0,22 0,16 0,11]
3 for i=1:4
4     Sy(i,:)=c(i)*x*(1+0.0004*x)^(-0,5)
5 end

```

(a)



```

1 x=1:10000
2 d=[0,24 0,02 0,14 0,08]
3 cc=[0,0001 0,0 0,0003 0,0015]
4 for i=1:4
5     Sz(i,:)=c(i)*x*(1+cc(i)*x)^(-0,5)
6 end

```

(b)

Fonte: Scilab, 2010.

Utilizando os valores de σ_y e σ_z encontrados, o segundo passo foi calcular a concentração de poluentes para os mesmos valores de X, considerando as condições atmosféricas, conforme a equação (3.9).

$$f(i,j) = \frac{Q}{2 * \pi * \bar{u} * Sy(cen,j) * Sz(cen,j)} * \exp\left(-\frac{y(i)^2}{(2 * Sy(cen,j))^2}\right) * \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2 * Sz(cen,j)^2}\right) \quad (3.9)$$

Onde:

Q = concentração máxima do poluente

\bar{u} = velocidade média dos ventos para a altura de descarga (m/s)

Sy = coeficiente de dispersão horizontal

Sz = coeficiente de dispersão vertical

y = distância do receptor à linha central da pluma na direção transversal (m)

z = distância do receptor à linha central da pluma na direção vertical (m).

Os parâmetros σ_y e σ_z e as concentrações foram calculados para as distâncias em x de 1 até 10.000 metros (Figura 14). As etapas descritas no item 3.3 resultaram na Figura 15 com setas (representando a direção do vento) e isolinhas (representando a concentração do poluente).

Figura 14 - Esquema da programação feita do Scilab

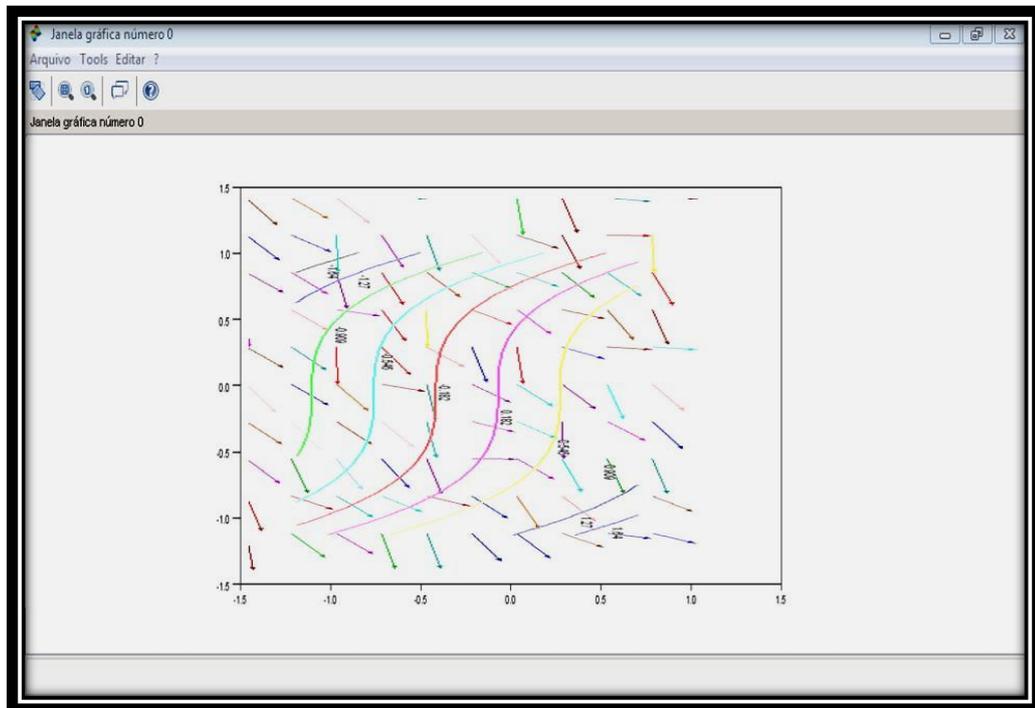
```

Sem nome 3 - Scinotes
Arquivo Editar Buscar Preferencias Window Executar ?
Sem nome 3 - Scinotes
*Sem nome 1 *Sem nome 2 *Sem nome 3
1 x=1:10:10000
2 c=[0,32 0,22 0,16 0,11]
3 d=[0,24 0,2 0,14 0,08]
4 cc=[0,0001 0,0 0,0008 0,0015]
5 for i=1:4
6 ... Sy(i,:)=c(i)*x*(1+0,00048*x)^(-0,5)
7 ... Sz(i,:)=d(i)*x*(1+cc(i)*x)^(-0,5)
8 end
9 y=100:10:100
10 Q=187,49 mg/m³
11 u=1,85
12 z=100
13 h=2
14 cen=1
15 for i=1:size(y,1)
16 ... for j=1:size(x,2)
17 ... f(i,j)=Q/(2*pi*u*Sy(cen,j)*Sz(cen,j))*exp(-(y(i)^2)/(2*Sy(cen,j)^2))*exp(-((z-h)^2*Sz(cen,j)^2))
18 ... end
19 end
20 xi=46887
21 yi=6671141.81
22 g=f(i) *
23 xcord=xi+d
24 ycord=yi+y
25 Sx=plot(xcord,ycord,g)
26

```

Fonte: Scilab, 2010.

Figura 15 - Representação da direção do vento (setas) e concentração do poluente à medida que se distancia da fonte emissora (isolinhas)



Fonte: Scilab, 2010.

3.4 APRECIACÃO DO MAPA DE CONFLITOS

A apreciação do Mapa de Conflitos apenas foi possível porque se fez a sobreposição da imagem de POA (Porto Alegre – bairros) com a imagem gerada no Scilab.

Nessa imagem é possível observar para qual direção os poluentes se deslocam e em que concentração, verificando quais bairros do município em estudo são prejudicados com esses poluentes.

Por fim, o Mapa de Conflitos é analisado segundo zonas de uso do município, estudo de caso, verificando se a poluição atmosférica condiciona o uso do espaço urbano.

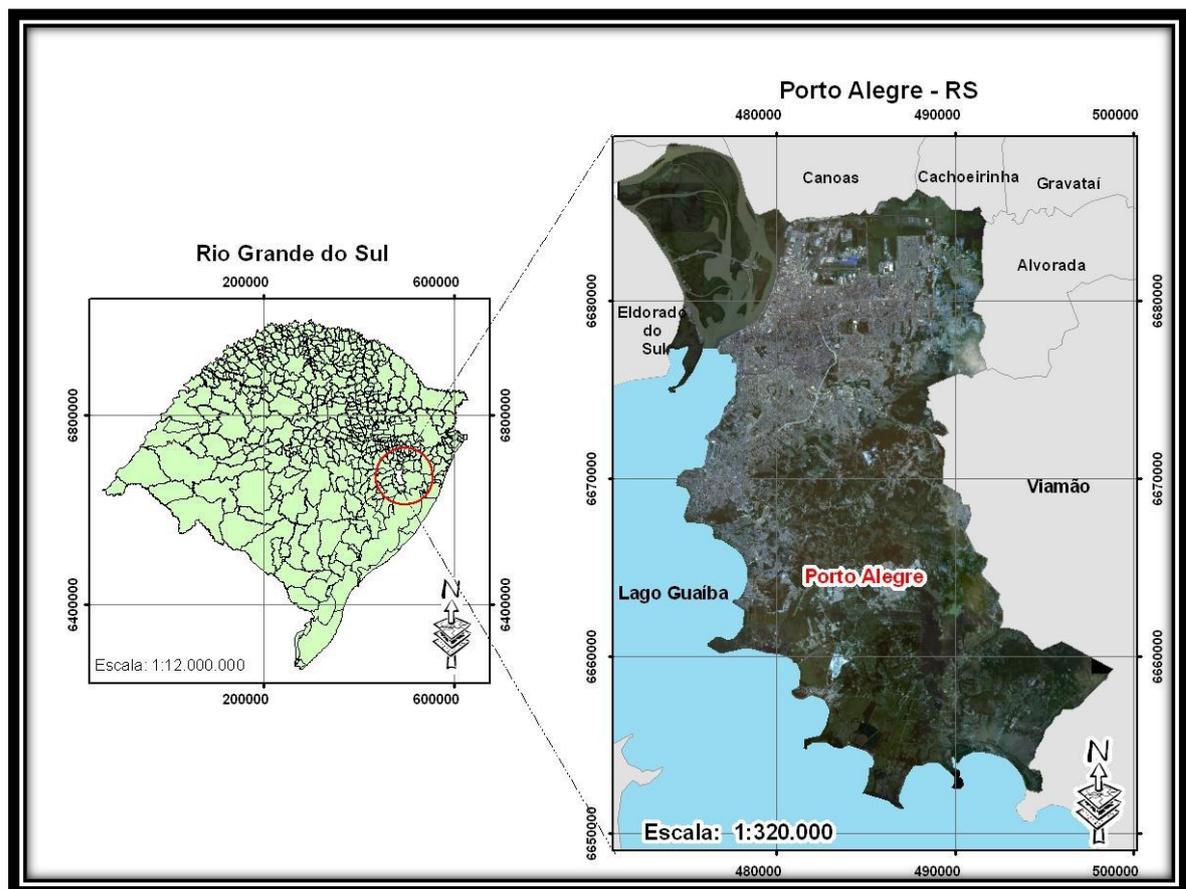
4 ESTUDO DE CASO

4.1 MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, RS

A poluição atmosférica em grandes centros urbanos tem constituído uma ameaça à qualidade de vida de seus habitantes, e isto não é diferente para o município de Porto Alegre.

O município de Porto Alegre, localizado a leste do Estado do Rio Grande do Sul, é banhado a Oeste pelo lago Guaíba, possuindo uma área total de aproximadamente 476,3 km² (Figura 16).

Figura 16 - Localização do município de Porto Alegre em relação ao Estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Dias et al., 2008.

Porto Alegre sofre influência do Oceano Atlântico, pois dista aproximadamente 100 km da linha de costa, não existindo obstáculos significativos à circulação local. Da mesma forma, o clima é influenciado pelo lago Guaíba (grande massa líquida que estabelece o limite Oeste

do município), conferindo-lhe características de subtropical úmido, classificado segundo Köppen como pertencente ao tipo climático Cfa⁸. A precipitação é uniforme todo o ano, com totais superiores a 1.200 mm.

As características do sítio geográfico são representadas pelos morros baixos maciços de Porto Alegre, intercalados pelas restritas planícies aluviais. Tais características formam um mosaico de compartimentos bem individualizados que estabelecem relações significativas com os parâmetros climáticos do município.

Para o município em estudo, assim como para outros aglomerados urbanos, a investigação da dispersão e do transporte de poluentes na atmosfera é uma atividade constitucional básica na proteção da qualidade de vida de qualquer cidadão. Um fator determinante para este estudo surge em decorrência do aumento no número de pessoas hospitalizadas todos os anos com problemas respiratórios e cardiovasculares, segundo pesquisas realizadas por Carneiro et al. (2007), e aumento de áreas urbanizadas projetadas em locais inadequados, com agravantes ambientais e sociais.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS

4.2.1 Dados meteorológicos

As informações referentes aos dados meteorológicos foram obtidas junto ao site do INMET, no link Rede de Estações. Aqui, fez-se download das informações de interesse referentes ao ano de 2010 (temperatura - T°C -e vento - direção e velocidade -).

A observação da superfície consiste de procedimentos sistemáticos e padronizados, visando à obtenção de informações qualitativas e quantitativas referentes aos parâmetros meteorológicos, capazes de caracterizar plenamente o estado instantâneo da atmosfera.

Os equipamentos utilizados para a obtenção desses dados estão descritos a seguir.

Equipamentos utilizados para a obtenção dos dados meteorológicos

Os dados meteorológicos são monitorados por meio da estação automática, um equipamento eletrônico movido a energia solar que coleta e armazena informações de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento, além da precipitação pluviométrica, em diversas escalas de tempo, de 1 minuto a 24 horas (Figura 17).

⁸ Cfa. Corresponde ao clima temperado úmido com Verão quente.

Figura 17 - Estação de monitoramento meteorológico automático



Fonte: Ag Solve, 2012.

Outra maneira de obter informações meteorológicas é por meio da observação de superfície convencional, que se refere a uma estação composta de vários sensores que registram continuamente parâmetros como: pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento etc. Estas informações são lidas e anotadas por um observador a cada intervalo, e o monitor as envia a um centro coletor por meio de uma comunicação qualquer.

4.2.2 Dados do fluxo de veículos

Junto a Marta Obelheiro⁹, por intermédio do professor Luis Antonio Lindau¹⁰, foi possível obter dados de contagem de veículos da EPTC (Empresa Pública de Transporte e Circulação do Município de Porto Alegre/RS) referentes a algumas vias da cidade em estudo.

O volume de veículos foi obtido dos controladores eletrônicos de velocidade (pardais¹¹) em três locais distintos do município, sendo eles: na Av. Assis Brasil, nº 4.935, na Av. Bento Gonçalves, nº 6.963, e na Av. Ipiranga, a 16 metros do nº 2.860, num intervalo de 24 horas. Optou-se por trabalhar com esses três pontos amostrais ao invés dos pontos onde estão localizadas as estações de monitoramento da qualidade do ar (FEPAM), por estes valores representarem bem o volume de veículos/dia que trafegam no local e devido à

⁹ Marta Obelheiro. Engenheira de Transporte - www.ctsbrasil.org

¹⁰ Luis A. Lindau. Professor Adjunto da Engenharia de Produção da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

¹¹ Pardais: equipamentos instalados em postes que fotografam e registram a velocidade dos veículos em excesso de velocidade.

concentração de poluentes emitidos nessas vias, que andam em paralelo com as concentrações observadas nos pontos amostrais (Rodoviária, ESEF e Silva Só x Ipiranga) (Figura 18).

Outro motivo que levou a autora a trabalhar com os três pontos amostrais descritos anteriormente (Av. Assis Brasil, nº 4.935, na Av. Bento Gonçalves, nº 6.963, e na Av. Ipiranga, a 16 metros do nº 2.860) foi o fato de não se ter controladores eletrônicos de velocidade nos locais em que estão localizadas as estações de monitoramento da qualidade do ar da FEPAM.

Figura 18 - Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar no município em estudo e a relação da localização dos dados de fluxo de veículos



Fonte: Elaborada pela autora.

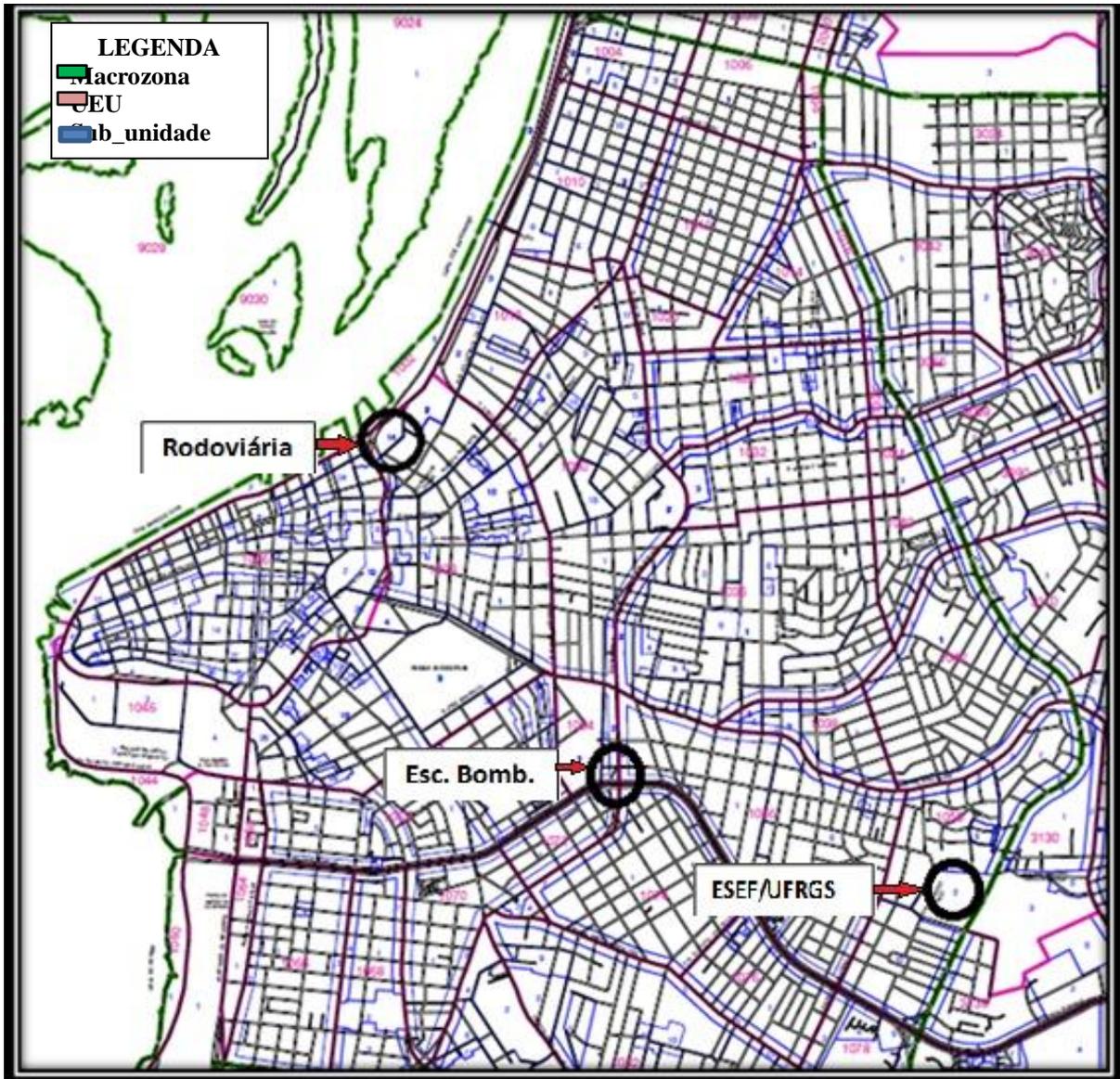
4.2.3 Mapa de zonas de uso do município de Porto Alegre, RS

Referido mapa evidencia as zonas de uso do solo urbano para o município de Porto Alegre (Anexo A), informando o regime urbanístico permitido em cada local. O mapa é datado de 1987 e foi atualizado em 2009, com escala 1:1000 e 1:5000 em formato (.dwg), que corresponde a uma extensão de arquivo de desenho em 2D e 3D nativa do software AutoCad.

O mapa de zoneamento do município de Porto Alegre divide-o em macrozonas caracterizadas por grandes zonas de Área de Ocupação Intensiva – AOI (sete) e Áreas de Ocupação Rarefeita – AOR (duas), formadas por conjuntos de Unidades de Estruturação Urbana – UEU que apresentam características peculiares quanto aos aspectos socioeconômicos, paisagísticos ou ambientais, segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental. As Unidades de Estruturação Urbana (UEU) são caracterizadas como módulos estruturadores do Modelo Espacial limitados pela malha viária básica. Cada unidade de estruturação urbana é novamente definida pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental como um regime urbanístico distinto.

Os detalhamentos da divisão das zonas de uso e unidades de estruturação urbana podem ser observados na Figura 19. Em destaque nessa imagem tem-se a localização das três estações de monitoramento da qualidade do ar utilizadas na pesquisa.

Figura 19 - Divisão territorial e zoneamentos de usos para os pontos amostrais das estações de monitoramento de qualidade do ar do município de Porto Alegre, RS



Fonte: Porto Alegre, PM, 2010.

4.2.4 Qualidade do ar

Embora nem sempre sejam conhecidos, ou se tenha catalogados, as fontes emissoras de poluição e os compostos por elas emitidos, o estudo sobre a concentração dos gases tóxicos lançados para a atmosfera é relevante, no primeiro momento, para verificar a real situação da qualidade ambiental nos grandes centros, e no segundo momento para analisar se estes poluentes condicionam a ocupação territorial no município.

Para a realização deste trabalho foram solicitadas junto à FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler) informações referentes aos dados dos equipamentos que monitoram a qualidade do ar instalados no município de Porto Alegre, RS. O montante de dados para tal análise corresponde aos anos de 2002 a 2009, conforme mostrado no Anexo B.

Os equipamentos para acompanhamento da qualidade do ar fazem referência à rede automática de monitoramento. Suas análises são realizadas automaticamente, por meio de princípios físicos e químicos, no instante em que o ar é amostrado, e os dados gerados são enviados via rede telefônica a uma central, o que permite o acompanhamento *online* da qualidade do ar.

Os amostradores utilizados para a realização da pesquisa estão dispostos em três pontos da cidade em estudo, sendo eles: na Rodoviária, na ESEF – Escola de Educação Física da UFRGS e na Rua Silva Só x Av. Ipiranga, conforme a Figura 20.

Nos amostradores, o parâmetro analisado foi: partícula inalável¹² (PI10) contemplando o período de 2002 a 2009. A justificativa para a escolha de trabalhar com tal poluente e neste intervalo de tempo se faz em razão de:

- Parâmetro analisado – Poluente responsável por aumentar o risco de morte prematura de crianças, além de induzir doenças pulmonares como asma, tosse e bronquite. Já nos adultos, estas finas partículas contidas no ar podem aumentar o risco de desenvolvimento de câncer nos pulmões, taxa de mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias (WHO, 2005).
- Intervalo de tempo analisado – Reflete na possibilidade de análise do comportamento do poluente em sua distribuição temporal e espacial no município de Porto Alegre, RS.

Equipamentos utilizados para a obtenção dos dados de qualidade do ar

Fabricados com materiais reconhecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os amostradores de grande volume, como o HI-VOL e o PM-10, são equipamentos que capturam partículas em suspensão trabalhando durante 24 horas ininterruptas. Funcionam num sistema de aspiração controlada no qual as partículas ficam retidas num filtro pré-pesado que, após o uso, é novamente pesado e analisado laboratorialmente para a verificação dos compostos ali contidos (Figura 20 a-b). A vazão do

¹² Representa a fração das partículas totais em suspensão que apresenta diâmetro aerodinâmico equivalente, igual a 10 (dez) micrômetros ou menor. Nas cidades, as partículas inaláveis têm origem predominantemente nas emissões de tráfego e também em algumas indústrias e na construção civil (QUERCUS – A.N.C.N, 2004).

equipamento utilizado para a coleta da concentração de poluentes do ar é limitada pela norma da ABNT-NBR 13412/95, estando este entre $1,1\text{m}^3/\text{min}$ a $1,7\text{m}^3/\text{min}$.

Figura 20 - Amostrador de grande volume HI-VOL (a) e PM-10 (b)



Fonte: Energética..., 2012.

Um terceiro equipamento utilizado para as análises de qualidade do ar é o TRI-GÁS (Figura 21), responsável por medir poluentes preestabelecidos e calibrados no aparelho, como Dióxido de Enxofre (SO_2), seja pelo método da pararosanilina (NBR 9546) ou pelo método do Peróxido de Hidrogênio (NBR 12979), ou qualquer outro composto para o qual haja um reagente disponível, permitindo a completa coleta mediante absorção.

Figura 21 - Representação do equipamento Tri-gás



Fonte: Energética..., 2012.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADO ESTATÍSTICO DOS DADOS COLETADOS

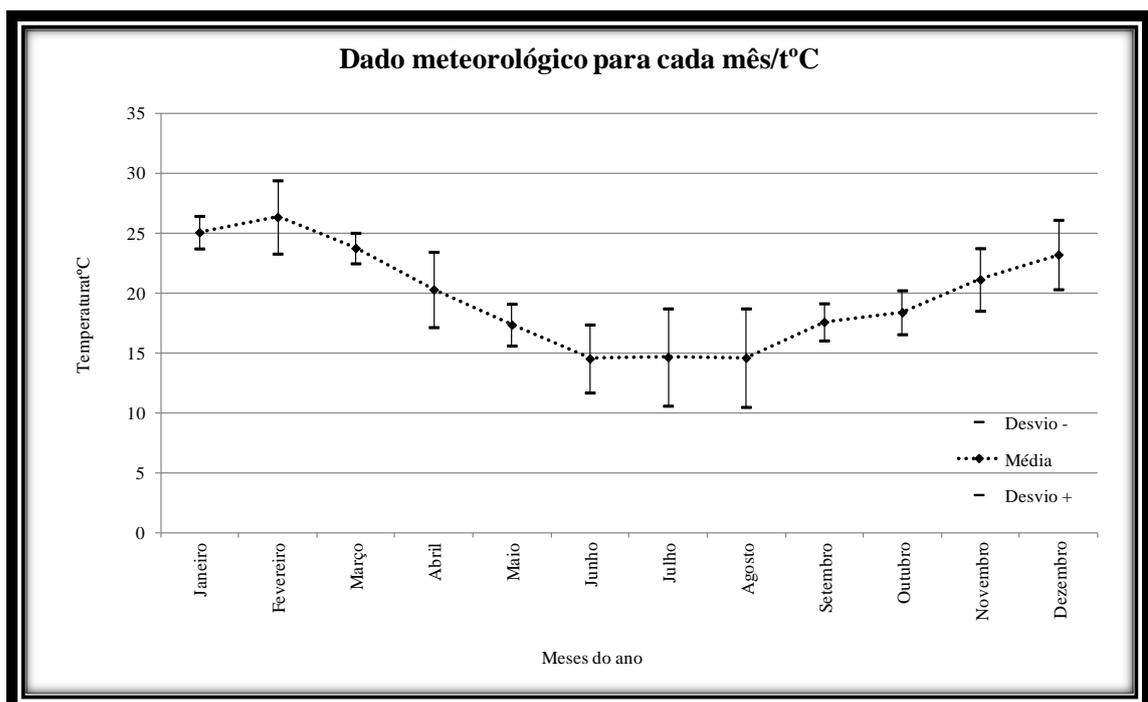
Após realizar o cálculo de média/mês para as diferentes variáveis utilizadas na pesquisa, neste capítulo será possível visualizar os dados resultantes das equações iniciais.

5.1.1 Dados meteorológicos

Os poluentes atmosféricos gerados pelo homem são emitidos diretamente para a atmosfera (poluente primário) ou sofrem reações químicas (poluentes secundários). Sua dispersão imediata depende das condições meteorológicas atuantes, como a precipitação, a luz solar, a umidade relativa, a temperatura do ar, a direção e velocidade do vento e a pressão atmosférica.

A velocidade das reações químicas que não são iniciadas pela luz depende, geralmente, da temperatura. Neste sentido, é possível observar na Figura 22 que o mês de fevereiro registrou o maior valor para temperatura, conforme a análise realizada.

Figura 22 - Representação comportamental da temperatura (t°C) para um ano



Fonte: INMET, 2010. Modificado por Mario, 2010.

Estudos como o de Martins et al. (2000) apontam para o efeito significativo da temperatura sobre as concentrações de alguns poluentes, sendo estes valores observados na Tabela 10. Esta importância se deve à variação de $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, que causa uma mudança de 31% nas concentrações de ozônio e de 24% nas concentrações de aldeídos.

Tabela 10 - Efeito da temperatura sobre as concentrações calculadas para os parâmetros de interesse. Resultados simulados para o caso base. Concentrações em ppm. Os valores entre parênteses são os desvios com respeito ao caso base (temperatura de 20°C)

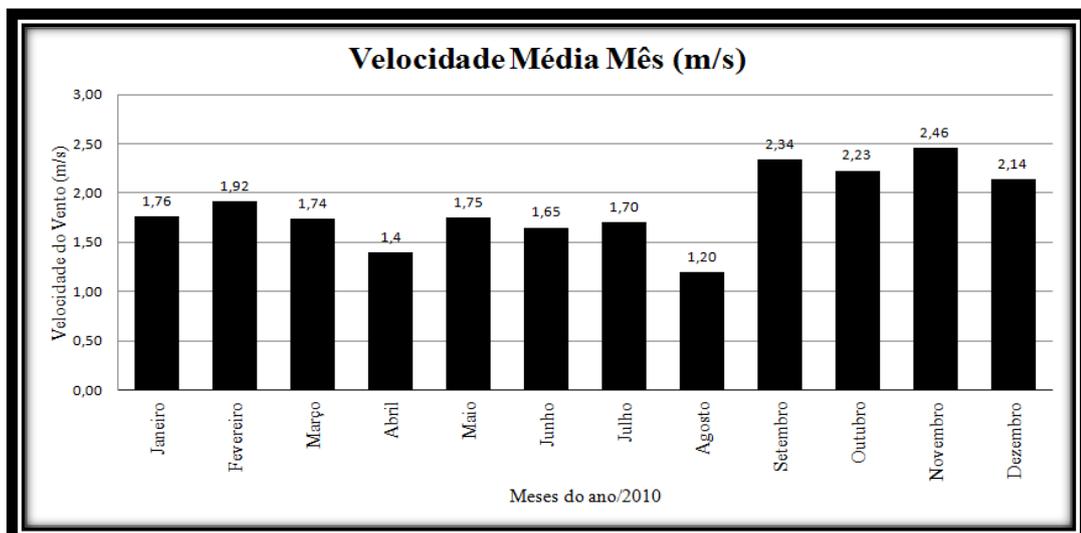
| ESPÉCIE | Concentração máxima (ppm) | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| | T = 0°C | T = 10°C | T = 20°C | T = 30°C | T = 40°C |
| Ozônio | 0,0177 (- 18,8%) | 0,0189 (- 15,3%) | 0,0218 | 0,0285 (+ 30,7%) | 0,0396 (+ 81,6%) |
| PAN x 10 ² | 0,0788 (+ 19,6%) | 0,0846 (+ 28,4%) | 0,0659 | 0,0396 (- 39,9%) | 0,0558 (- 15,3%) # |
| acetaldeído x 10 ² | 0,4830 (- 16,9%) | 0,5190 (- 10,7%) | 0,5815 | 0,6736 (+ 15,8%) | 0,6656 (+ 14,5%) |
| formaldeído X 10 ² | 0,6136 (- 23,9%) | 0,6797 (- 15,8%) | 0,8068 | 0,9982 (+ 23,7%) | 1,1950 (+ 100%) |

não foi atingido o valor máximo até as 18:00 h

Fonte: Martins et al., 2000.

Para os dados referentes à velocidade do vento, nenhum cálculo além da média aritmética do mês foi realizado, sendo obtido o valor máximo de 2,46 m/s para o mês de novembro e o valor mínimo de 1,20 m/s para o mês de agosto. Calculando a média da velocidade do vento para o ano de 2010 no município de Porto Alegre, obteve-se o valor de 1,85 m/s, conforme a Figura 23.

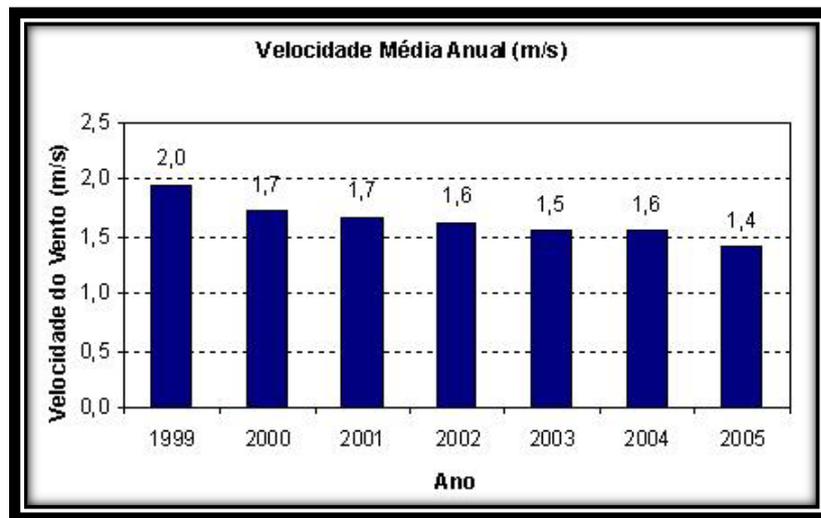
Figura 23 - Velocidade média mensal dos ventos para o município de Porto Alegre



Fonte: INMET, 2010. Modificado pela autora, 2010.

Este valor corrobora o estudo anteriormente realizado por Wenzel et al. (2006) ao citarem que a velocidade do vento não passa de 2 m/s ano segundo a análise dos dados do 8º DISME (Figura 24).

Figura 24 - Velocidade média anual de 1999 a 2005 – 8º DISME



Fonte: Wenzel et al., 2006.

Voltando o olhar para a figura, é notável que a intensidade dos ventos se mostra praticamente constante o ano todo, com ligeiro aumento em alguns meses (setembro, outubro, novembro e dezembro). Tais informações corroboram os achados de Araújo (2003), que já chamava atenção para a intensidade mais elevada em alguns meses do ano para Porto Alegre em função do regime isobárico¹³ de transição da primavera. Segundo o autor, esta estação se caracteriza por ser a mais ventosa.

A direção dos ventos tem um papel importante na concentração dos poluentes, pois leva em consideração a estrutura topográfica da cidade e a concentração de prédios e da população.

Os dados de direção do vento deste estudo corroboram Zurita e Tolfo (2000) e Wenzel et al. (2006), que citam como média das direções do vento para o município de Porto Alegre, RS, entre os anos de 1999 a 2005, ser a direção Sudeste como predominante. Isso pode ser visto para os doze meses do ano (Anexo C).

¹³ ISOBÁRICO: In: **Wikipedia– A enciclopédia livre**: “transformação termodinâmica sofrida por um gás na qual a pressão permanece constante. O termo deriva da língua grega *iso*, ‘igual’ *ebaros*, ‘pressão’.”

Para facilitar a compreensão de tais dados, na Tabela 11 podem ser visualizadas, para cada mês do ano, a média da velocidade do vento e a direção do vento que aparece com maior frequência para o município de Porto Alegre, RS.

Tabela 11 - Valores médios da velocidade do vento e direção do vento predominante

| Mês | Média Vel. (m/s) | Moda Direção (graus) |
|------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Janeiro | 1,76 | SE |
| Fevereiro | 1,92 | SE |
| Março | 1,74 | SE |
| Abril | 1,4 | SE |
| Mai | 1,75 | E |
| Junho | 1,65 | E |
| Julho | 1,70 | SE |
| Agosto | 1,20 | SE/E |
| Setembro | 2,34 | E |
| Outubro | 2,23 | SE |
| Novembro | 2,46 | SE |
| Dezembro | 2,14 | SE |

Fonte: Elaborada pela autora.

Um vento que sopra em direção a uma área edificada pode agravar a situação da dispersão. Deparando-se com uma situação dessas, há uma formação de baixa pressão que acaba capturando os poluentes para a depressão em forma de redemoinhos. Certamente, os redemoinhos ainda causam outro agravante: eles elevam e fazem ressurgir o material particulado do solo, que se associa aos poluentes importados.

5.1.2 Dados do número de veículos nos três pontos amostrais do município de Porto Alegre, RS – Estudo de caso

Conforme o Censo de 2010, Porto Alegre tem 1.409.939 habitantes e uma frota veicular de 688.845, segundo o Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN/RS); ou seja, há um carro para cada 2,04 moradores.

Na análise ao longo da pesquisa, os valores descritos consideram o veículo como sendo (unidade veículo padrão) para um período de 24 horas, partindo de dados obtidos dos controladores eletrônicos de velocidade. Na pesquisa não foi contabilizado o número de veículos que o município apresenta.

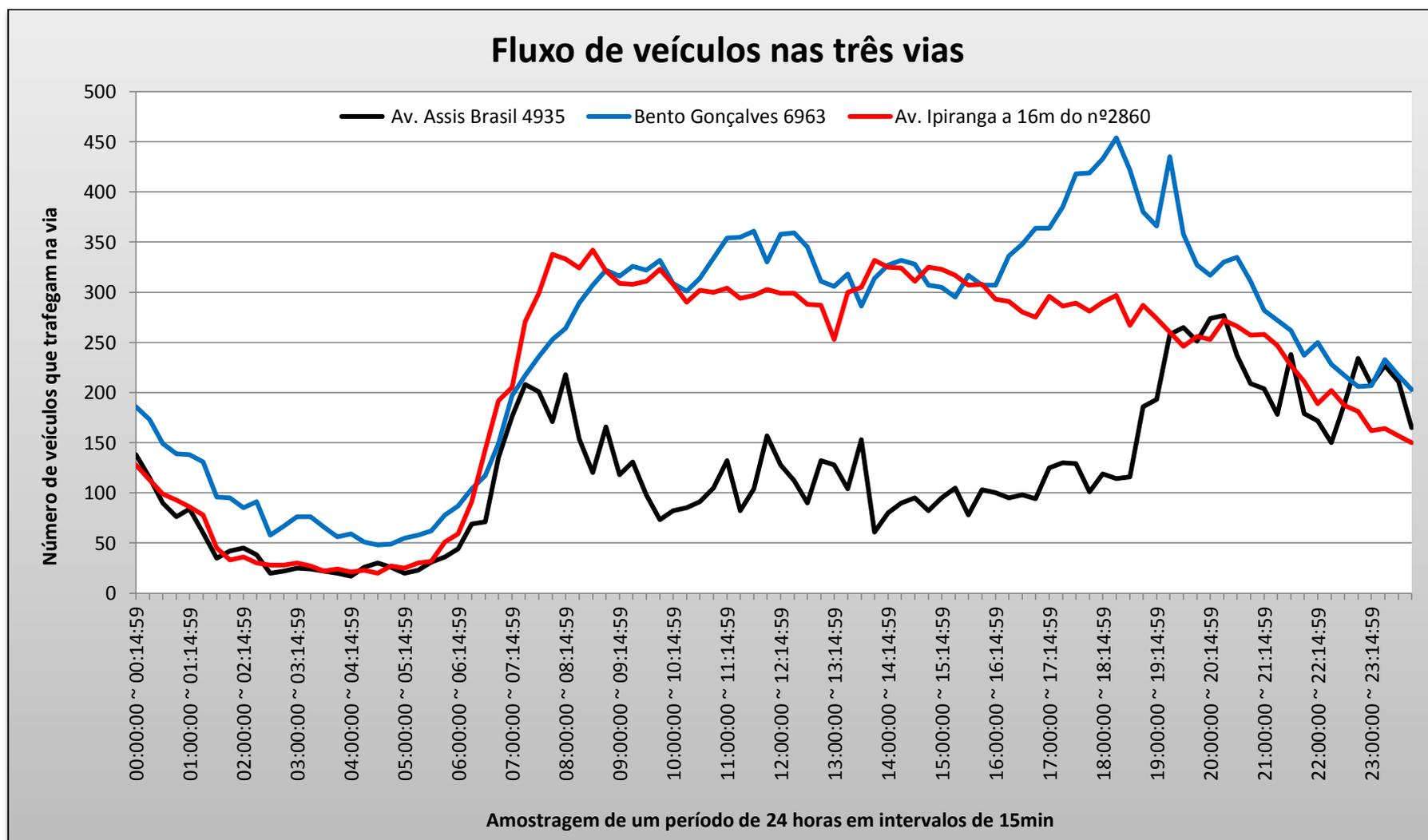
É possível observar, na Figura 25, que num período de 24 horas ocorrem alguns picos no número de veículos que trafegam nos três pontos amostrais. Relacionando primeiramente os três diferentes pontos amostrais referentes ao número de veículos que trafegam nas vias analisadas, é possível perceber que, na Av. Assis Brasil, o primeiro pico no aumento do número de veículos é observado no intervalo das 7h às 8h30min. O segundo, entre as 12h e 12h30min, finalizando com um terceiro pico entre 19h e 20h30min. Na via Bento Gonçalves, os primeiros dois picos são entre as 11h e 13h30min, e o segundo, entre as 18h e 20h15min. Na Av. Ipiranga, o fluxo de veículos que trafegam na via aumenta às 8h, mantendo-se constante ao longo do dia.

Ainda na Figura 25 se verifica que, no intervalo das 20h30min às 24horas, há um declínio no número de veículos que trafegam nas vias analisadas, porém o horário de menor fluxo veicular nas vias ocorre entre 1h e 5h30.

O fato observado na mesma figura remete a pensar que os picos sejam frutos da ida para o trabalho, da saída para o almoço e do retorno da população para suas casas, mantendo este padrão comportamental de um número mais elevado de veículos por um período de 12 horas: das 6 às 18 horas.

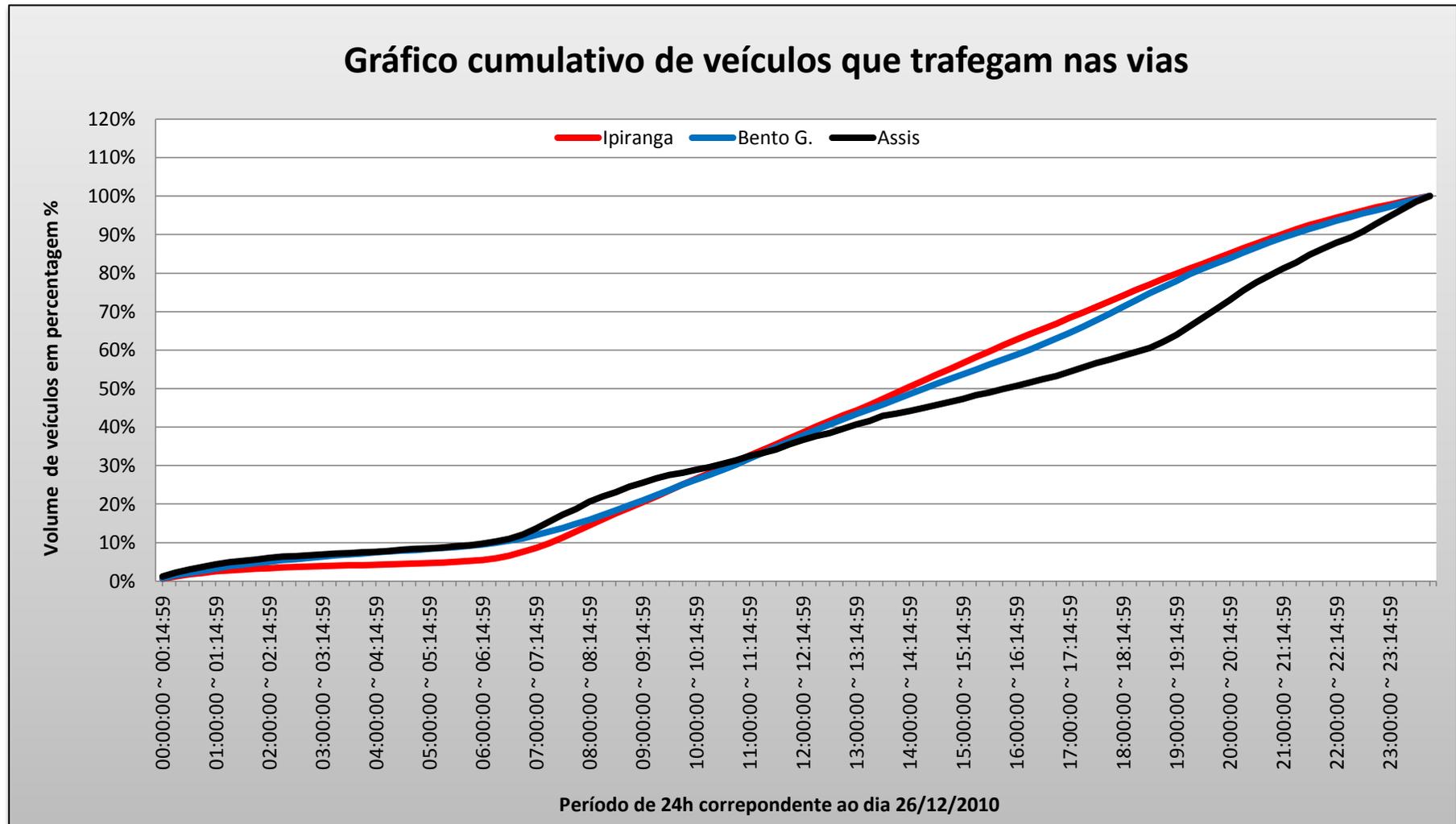
Na Figura 26 é possível perceber o mesmo comportamento para os três pontos analisados, sendo observadas duas retas com declividade distinta para as três análises. A figura revela a existência de um certo padrão comportamental no tráfego de veículos registrado por estes pontos, tendo a reta uma tendência mais próxima nas Avenidas Ipiranga e Bento Gonçalves.

Figura 25 - Representação do volume de veículos para intervalos de 15 minutos, nos três pontos amostrais



Fonte: Porto Alegre, EPTC, 2010. Modificado por Mario, 2010.

Figura 26 - Gráfico acumulativo do percentual de veículos ao final de um dia (período de 24 horas).



Fonte: Porto Alegre, EPTC, 2010. Elaborado pela autora, 2010.

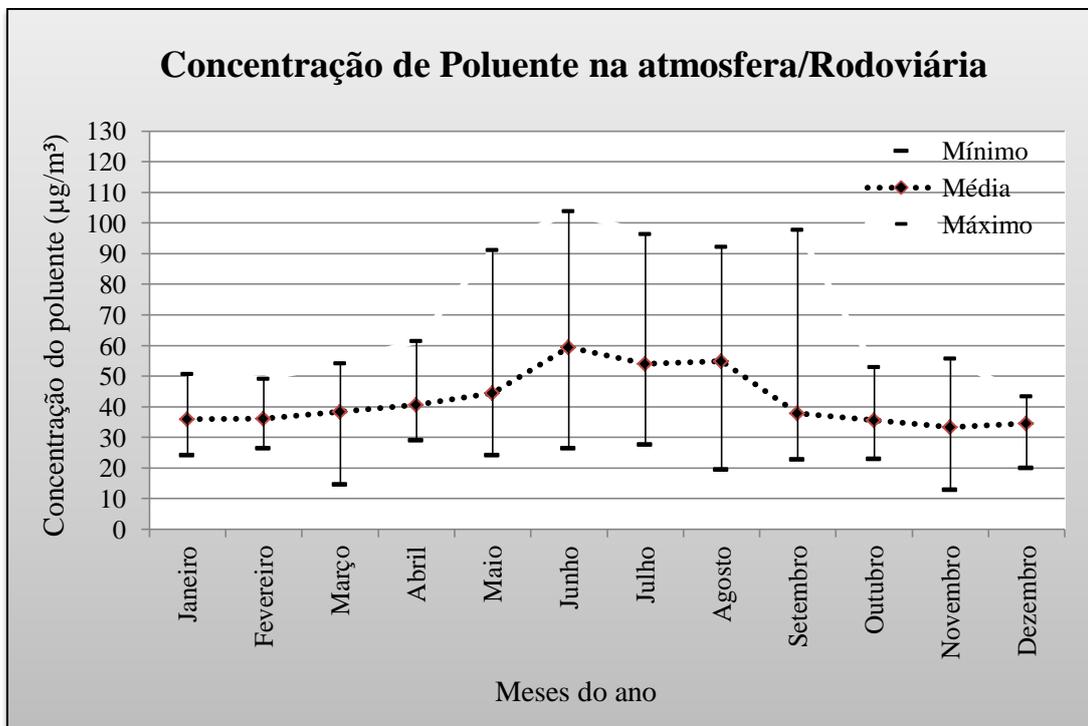
5.1.3 Qualidade do ar

As partículas inaláveis analisadas compreendem fragmentos de tamanho inferior ou igual a 10 μm (PM10); sua composição e tamanho dependem da fonte de emissão, mas, em geral, são constituídas por componentes múltiplos, tais como: sulfatos, sais, metais, partículas de carbono, sílica finamente dividida e outros (SAITOH; et al., 2002). Suas concentrações são medidas em relação à massa total concentrada de material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Calculada a média aritmética para cada um dos 365 dias do ano e agrupando os valores da concentração do poluente para o período de oito anos num único valor, obteve-se, a partir dele, a média/mês de contaminante lançado para a atmosfera pelas diferentes fontes emissoras.

É possível constatar uma diferença relevante na concentração de poluentes entre os doze meses analisados, conforme a Figura 27 (a), (b) e (c), para cada um dos três pontos amostrais observados no estudo, sendo estes valores mais elevados no período do inverno.

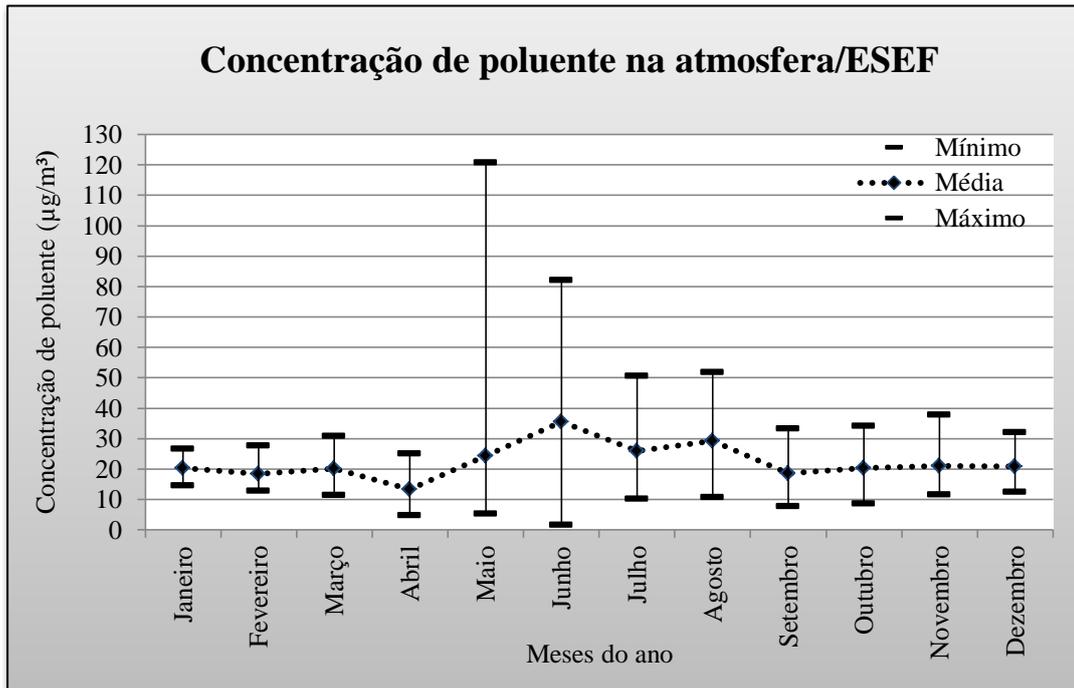
Figura 27 - Concentração do poluente emitido nos três pontos amostrais de Porto Alegre, RS



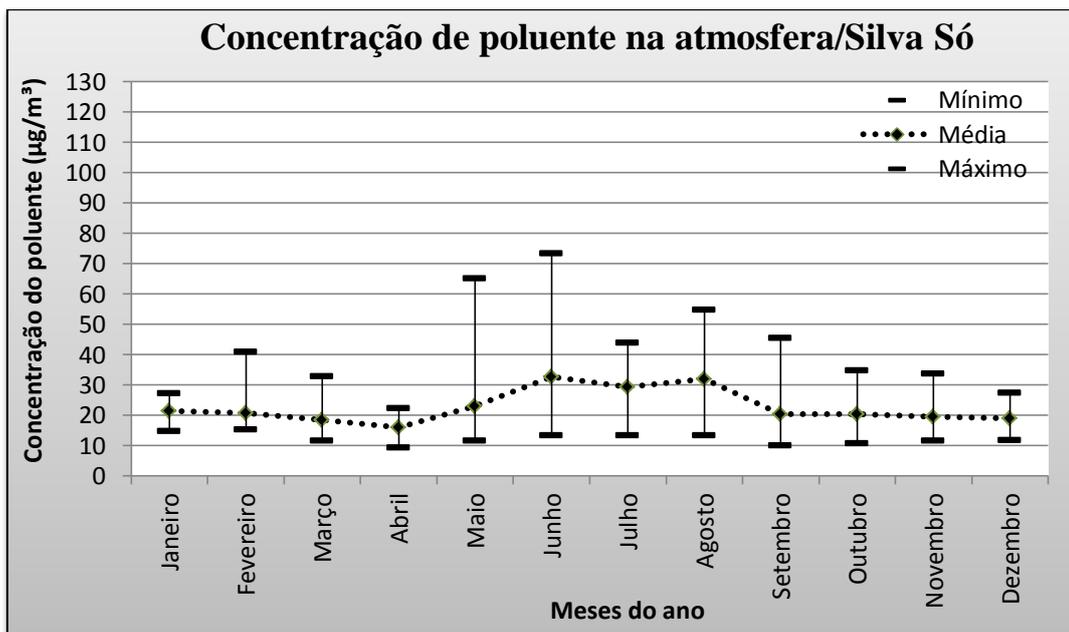
(a)

- continua -

- continuação -



(b)



(c)

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados não corroboram o estudo realizado por Lazzari (2009), que afirma que as concentrações do poluente analisado não atingiram os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990, em Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

Para as concentrações de partículas inaláveis PM_{10} , verificou-se que as maiores médias para cada ponto foram iguais a $59,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rodoviária), $35,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ESEF/UFRGS) e $32,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Escola de Bombeiros localizada às margens da Rua Silva Só com Av. Ipiranga).

Os valores máximos observados para o cálculo de média no período de oito anos analisado foram de 120,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na ESEF/UFRGS em maio, 103,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na localidade da Rodoviária e 73,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na Escola de Bombeiros. Os últimos dois pontos amostrais obtiveram tais valores no mês de junho. As informações aqui descritas são apresentadas na Tabela 12 (a), (b) e (c), abaixo.

Tabela 12 - Concentrações mínimas, médias e máximas do poluente em análise

| RODOVIÁRIA | Mínimo | Média | Máximo |
|-------------------|---------------|--------------|---------------|
| Janeiro | 24,22 | 35,87 | 50,67 |
| Fevereiro | 26,45 | 36,17 | 49,09 |
| Março | 14,61 | 38,39 | 54,15 |
| Abril | 29,03 | 40,69 | 61,45 |
| Maio | 24,10 | 44,54 | 91,24 |
| Junho | 26,34 | 59,38 | 103,81 |
| Julho | 27,57 | 53,95 | 96,32 |
| Agosto | 19,40 | 54,94 | 92,16 |
| Setembro | 22,72 | 37,92 | 97,70 |
| Outubro | 22,93 | 35,63 | 52,90 |
| Novembro | 12,85 | 33,33 | 55,81 |
| Dezembro | 20,00 | 34,59 | 43,41 |

(a)

| ESEF/UFRGS | Mínimo | Média | Máximo |
|-------------------|---------------|--------------|---------------|
| Janeiro | 14,56 | 20,27 | 26,68 |
| Fevereiro | 12,86 | 18,36 | 27,70 |
| Março | 11,37 | 20,19 | 30,86 |
| Abril | 4,83 | 13,33 | 25,00 |
| Maio | 5,36 | 24,32 | 120,78 |
| Junho | 1,59 | 35,62 | 82,15 |
| Julho | 10,27 | 26,01 | 50,64 |
| Agosto | 10,65 | 29,34 | 51,74 |
| Setembro | 7,71 | 18,67 | 33,23 |
| Outubro | 8,59 | 20,28 | 34,16 |
| Novembro | 11,53 | 21,07 | 37,81 |
| Dezembro | 12,46 | 20,81 | 32,09 |

(b)

| Escola Bombeiro | Mínimo | Média | Máximo |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|
| Janeiro | 14,83 | 21,40 | 27,21 |
| Fevereiro | 15,28 | 20,76 | 40,88 |
| Março | 11,66 | 18,47 | 32,84 |
| Abril | 9,36 | 16,06 | 22,40 |
| Maio | 11,66 | 23,04 | 65,07 |
| Junho | 13,35 | 32,64 | 73,40 |
| Julho | 13,32 | 29,38 | 44,00 |
| Agosto | 13,33 | 31,96 | 54,75 |
| Setembro | 10,01 | 20,46 | 45,46 |
| Outubro | 10,81 | 20,33 | 34,85 |
| Novembro | 11,63 | 19,50 | 33,73 |
| Dezembro | 11,88 | 19,08 | 27,42 |

(c)

Fonte: Elaborada pela autora.

Não obstante, adverte-se que na Tabela 13, em que estão representados os valores das concentrações de partículas inaláveis na íntegra, se pode concluir que a Rodoviária excede os níveis de concentração do poluente previstos pela Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990.

Uma agravante nos dados é que a concentração do poluente para o tempo de amostragem de 24 horas entre os anos de 2003 a 2005 excedeu o limite mais de uma vez no ano, porém em nenhuma delas atingiu níveis de atenção, que seriam valores $\geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 13 - Concentrações do parâmetro analisado nos locais de estudo segundo a Resolução CONAMA nº 03/1990

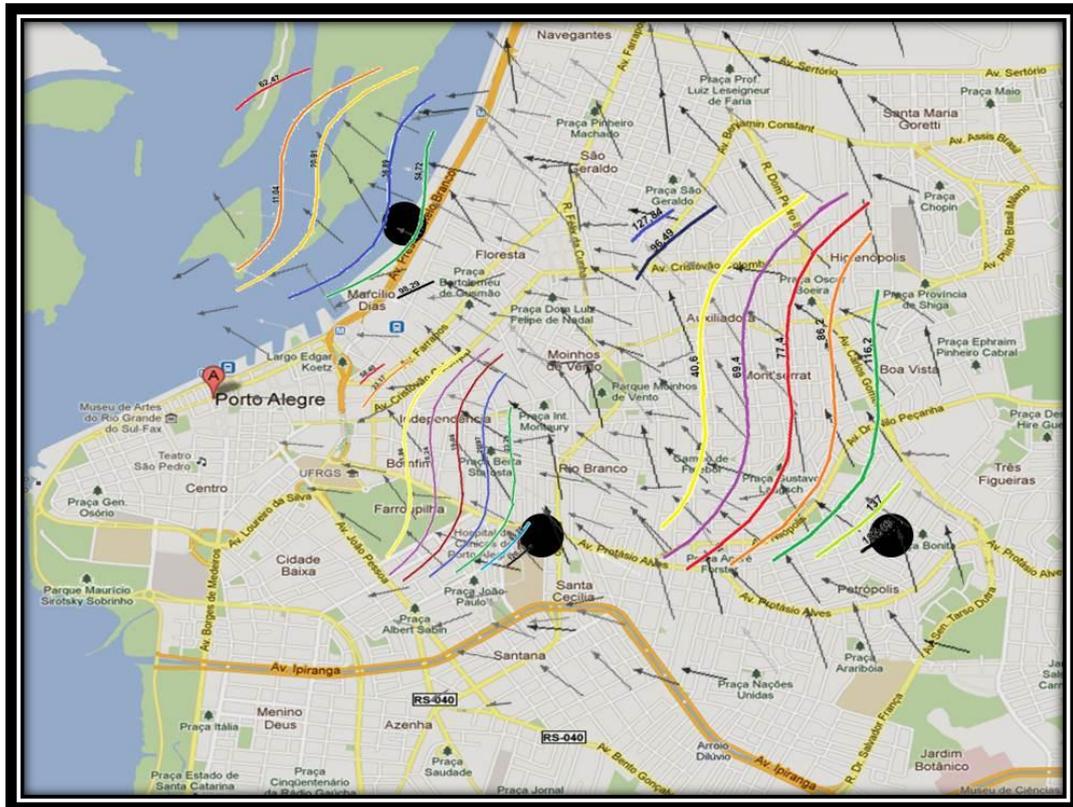
| Estação Rodoviária | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|-------|--------|------|------|
| CONAMA | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 24 horas ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 182,43 | 171,88 | 182,61 | 187,49 | 94,91 | 126,09 | 0 | 0 |
| MAA ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 34,39 | 34,87 | 45,79 | 50,52 | 42,86 | 45,36 | 0 | 0 |
| Qt x excedeu no ano | 1 | 2 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | |
| Estação Esef | | | | | | | | |
| CONAMA | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 24 horas ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0 | 31,67 | 69,40 | 120,78 | 85,25 | 40,58 | 0 | 0 |
| MAA ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0 | 11,25 | 20,37 | 22,12 | 23,06 | 18,08 | 0 | 0 |
| Qt x excedeu no ano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estação Escola Bombeiros | | | | | | | | |
| CONAMA | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 24 horas ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 92,92 | 111,52 | 69,40 | 81,35 | 85,25 | 37,70 | 0 | 0 |
| MAA ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 20,53 | 24,62 | 20,51 | 23,16 | 23,06 | 24,64 | 0 | 0 |
| Qt x excedeu no ano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Brasil, MMA/CONAMA, 2010. Modificado pela autora.

5.2 RESULTADOS DO SCILAB

A Figura 28 representa o comportamento do poluente (partículas inaláveis) nos três pontos amostrais (Largo Edgar Kätz/Rodoviária, Escola de Bombeiros e ESEF/UFRGS). Nas três estações de monitoramento da qualidade do ar é possível observar que, junto à fonte emissora, o valor da concentração é mais elevado do que em outros locais, porém é perceptível, em alguns momentos, que o nível de contaminantes se eleva novamente. Isto decorre da presença de edificações, que altera o padrão do escoamento da pluma.

Figura 28 - Área de influência do poluente analisado para os três pontos amostrais da cidade de Porto Alegre, RS



Fonte: Elaborada pela autora.

5.3 APRECIACÃO DO MAPA DE CONFLITOS

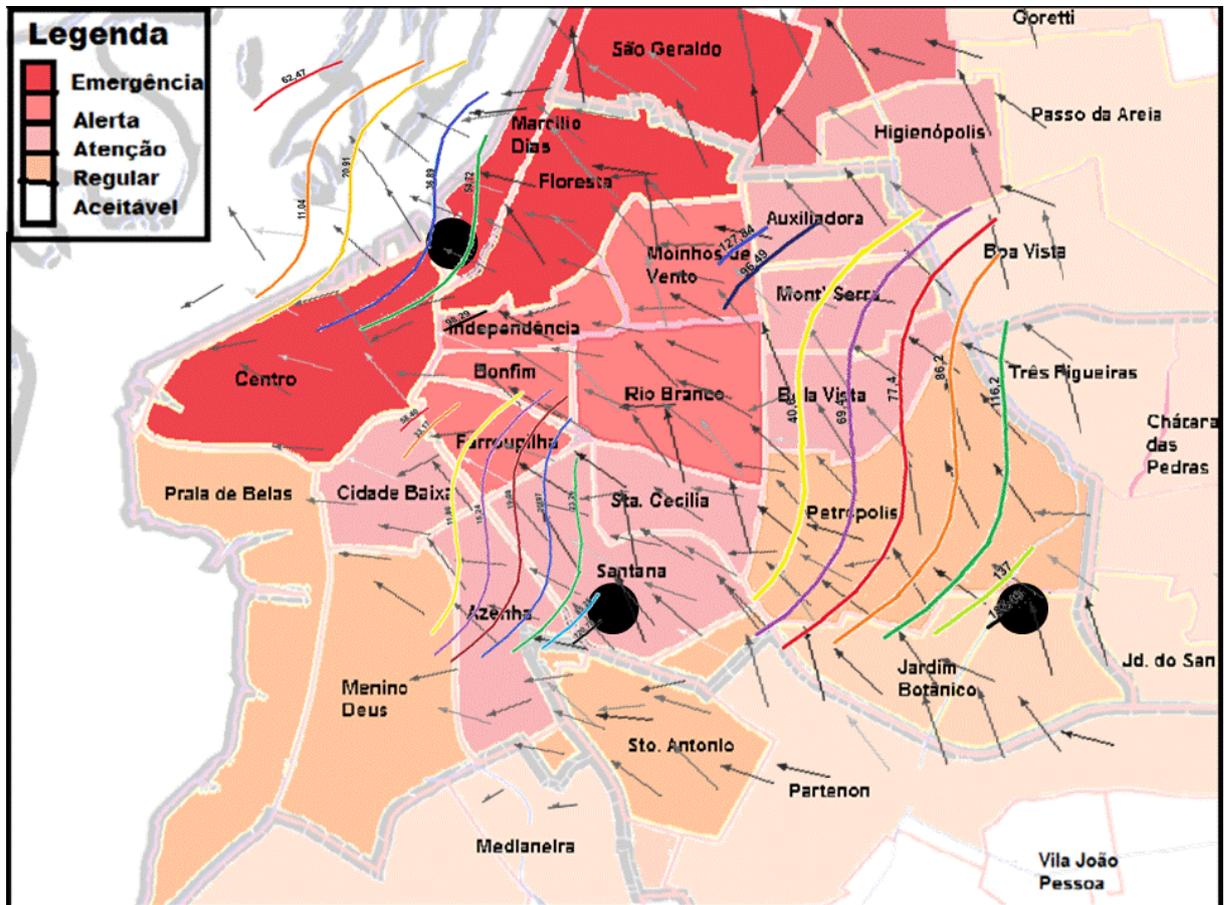
O programa Scilab utilizado na pesquisa permite obter estimativas da concentração do poluente ao nível do solo para uma única fonte emissora. A apreciação da Figura 28 com o mapa dos bairros de Porto Alegre comporta observar as normas gerais do regime urbanístico para as áreas de propagação da partícula analisada na pesquisa. Esta análise gerou o Mapa de Conflitos que se podem observar na Figura 29, a seguir.

Em consulta ao Regime Urbanístico, cada estação de monitoramento da qualidade do ar está localizada dentro de uma Unidade de Estruturação Urbana diferente. Cada UEU apresenta um regime urbanístico distinto, segundo sua classificação quanto à atividade: atividades inóculas¹⁴, atividades de interferência ambiental¹⁵ 1, 2 e 3 e atividades especiais.

¹⁴ Atividade inócua: aquela que não causa incômodo e nem impacto significativo ao ambiente, à estrutura e à infraestrutura urbanas (PORTO ALEGRE, SPM, [s.d.]).

¹⁵ Atividades de interferência ambiental 1, 2 e 3: aquelas que têm potencial de causar incômodo e impacto significativo ao ambiente, à estrutura e à infraestrutura urbanas, em face dos níveis de repercussão relacionados à conceituação das Zonas de Uso, além de critérios de diversidade e porte. (PORTO ALEGRE, SPM, [s.d.]).

Figura 29 - Mapa de conflitos, que focaliza os pontos de monitoramento da qualidade do ar em Porto Alegre, RS



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o terminal Rodoviário observa-se a proibição de algumas atividades, como comércio varejista e atacadista que tenham interferência ambiental nível 2 e 3, serviços com intervenção ambiental 2 e 3 e indústria com influência ambiental; já na estação de monitoramento de qualidade do ar localizada próximo à Escola de Bombeiros se constata a proibição das atividades comércio atacadista e serviços com interferência ambiental de nível 3. Para a ESEF/UFRGS, o regime de atividades é caracterizado por área de interesse institucional (Tabela 14). A proibição de algumas atividades independe do limite de porte da área de ocupação.

No item Habitação, tanto para a Rodoviária quanto para a Escola de Bombeiros não há restrições ao porte na área de ocupação. Nos itens com atividade inócua ou de interferência ambiental nível 1 os limites de porte na área ficam entre 200 m² a 1500 m² para a estação

Rodoviária e 500 m² a 1500 m² para a área onde está localizada a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Silva Só (Escola de Bombeiros) (Tabela 15).

Tabela 14 - Quadro de restrições quanto à implantação de atividades na área de ocupação intensiva

| Restrição Quanto a Implantação de Atividades na Área de Ocupação Intensiva | | | |
|---|----------------------------------|--|----------------------------|
| | | Rodoviária | Escola de Bombeiros |
| | | Predominantemente Residencial | Mista 2 |
| Habitação | | Sem restrição | Sem restrição |
| | Inóculo | Sem restrição | Sem restrição |
| Comércio Varejista | Interferência Ambiental 1 | bar/café/lancherias/restaurantes e restaurantes/funerárias | Sem restrição |
| | Interferência Ambiental 2 | Proibido | Sem restrição |
| Comércio Atacadista | Interferência Ambiental 2 | Proibido | Sem restrição |
| | Interferência Ambiental 3 | Proibido | Proibido |
| Serviços | Inóculo | Sem restrição | Sem restrição |
| | Interferência Ambiental 1 | Sem restrição | Sem restrição |
| | Interferência Ambiental 2 | Proibido | Sem restrição |
| | Interferência Ambiental 3 | Proibido | Proibido |
| Indústrias | Inóculo | Sem restrição | Sem restrição |
| | Interferência Ambiental | Proibido | Sem restrição |

Fonte: Porto Alegre, SPM, [s.d.].

Tabela 15 - Quadro de restrições quanto aos limites de porte na área de ocupação intensiva

| Restrição Quanto Aos Limites de Porte na Área de Ocupação Intensiva | | | |
|--|----------------------------------|---|----------------------------|
| | | Rodoviária | Escola de Bombeiros |
| | | Predominantemente Residencial | Mista 2 |
| Habitação | | Sem limite | Sem limite |
| | Inóculo | 200 m ² | Sem limite |
| Comércio Varejista | Interferência Ambiental 1 | 200 m ² | Sem limite |
| | Interferência Ambiental 2 | Proibido | Sem limite |
| Comércio Atacadista | Interferência Ambiental 2 | Proibido | 1500 m ² |
| | Interferência Ambiental 3 | Proibido | Proibido |
| Serviços | Inóculo | 200 m ² | Sem limite |
| | Interferência Ambiental 1 | 1500 m ² para atividades relacionadas nos 3.2.01 até 3.2.17 e 200 m ² para as | 1500 m ² |
| | Interferência Ambiental 2 | Proibido | 1500 m ² |
| | Interferência Ambiental 3 | Proibido | Proibido |
| Indústrias | Inóculo | 200 m ² | 500 m ² |
| | Interferência Ambiental | Proibido | 500 m ² |

Fonte: Porto Alegre, SPM, [s.d.].

O Sistema Municipal de Gestão do Planejamento (SMGP) tem liberdade para alterar o regime de atividades nas vias das Unidades de Estruturação Urbana (UEU), assim como pode vedar a edificação de garagens comerciais ou de atividades geradoras de tráfego, constantes na listagem do Anexo E, independentemente do estabelecido que venha a dificultar as funções urbanas previstas para o local. Incluídas nas funções urbanas estão as atividades geradoras de tráfego, que atraem ou produzem grande número de viagens ou que causam reflexos e/ou impactos negativos. Tais impactos englobam a circulação (quando a quantidade de veículos atraídos é superior à capacidade das vias), o estacionamento (quando não há espaço suficiente para a guarda de veículos, carga e descarga, embarque e desembarque) e o meio ambiente (quando se verifica situação crítica com relação à poluição ambiental).

Verificadas as restrições quanto à implantação de atividades no município de Porto Alegre, RS, pode-se dizer que a poluição atmosférica, como único elemento no contexto ambiental, não condiciona a ocupação do espaço urbano. Tal observação é plausível quando se analisa cuidadosamente o PDDUA, que estabelece importantes regramentos ao uso do solo urbano, porém sem citação alguma referente à poluição atmosférica. Os condicionantes ambientais nele subentendidos seriam a topografia, seguida da geologia, dos recursos hídricos etc. Tais elementos, somados às questões socioeconômicas, constituem a base para um estudo urbanístico.

Nesse sentido, pode-se dizer que a estrutura racional da cidade moderna busca unir os recursos naturais às necessidades sociológicas, promovendo o bem-estar da população. Mas, se a qualidade de vida ainda é comprometedora, isto decorre de três possíveis fatores. O primeiro é a ausência de maior controle, pelo Poder Público, sobre a relação entre o crescimento da população e suas demandas, seguido das demandas da população, que poderiam ser dimensionadas em função dos padrões numéricos ideais, empiricamente definidos e válidos para todas as parcelas do espaço da cidade, e, por último, a minimização dos problemas da cidade ocorrendo à medida que se buscasse um “desenho” espacial conveniente para cada Unidade Territorial de Planejamento (Residencial, Mista, de Comércio e Serviços etc.).

Ainda na Figura 29, é irrefutável que os bairros em destaque na cor vermelha são os mais atingidos pela poluição emitida por fontes móveis, apresentando o pior cenário de qualidade de vida para um cidadão ali viver, seguidos dos bairros menos atingidos, caracterizados aqui pelo degrade de cores quentes. Neste sentido, verifica-se que nem sempre o receptor localizado próximo à fonte emissora é o prejudicado; isso dependerá muito de um conjunto de fatores climáticos e topográficos, entre outros.

Finaliza-se afirmando que o estudo da dispersão dos poluentes em ambientes urbanos deveria ser integrado ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental, haja vista que é um fator condicionante à qualidade de vida dos cidadãos. Os Planos Diretores devem ser revistos periodicamente, com a finalidade de possibilitar a integração do modal transporte de uma forma mais eficaz ao longo do tempo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os três pontos amostrais de qualidade do ar trabalhados segundo o PDDUA não apresentam restrição quanto à habitação, porém apresentam diferentes concentrações do poluente, conforme a pesquisa realizada. Assim, diz-se que a poluição atmosférica não é determinante no zoneamento do município de Porto Alegre.

Conclui-se que a poluição atmosférica não condiciona a ocupação do espaço urbano do município de Porto Alegre, RS.

Após tal constatação, enfatiza-se a importância de realizar um estudo preliminar da dispersão das partículas contaminantes em paralelo ao estudo do regime urbanístico da cidade, para melhorar a qualidade de vida do cidadão e o ambiente. Neste sentido, constatou-se que:

- Na estação de monitoramento da qualidade do ar situada no Largo Edgar Ketz, Centro de Porto Alegre - Centro/Rodoviária, a concentração média de PM10 é elevada quando comparada à dos demais pontos amostrais. Porém, em nenhum dos locais analisados foram excedidos os limites para padrões primários (24 horas) e secundários (média aritmética anual).
- O valor máximo encontrado foi observado na ESEF/UFRGS, no mês de maio, com 120,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido da Rodoviária, com 103,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no mês de junho.
- Nos três locais com estação de monitoramento as maiores concentrações do poluente foram nos meses de junho a agosto, período de inverno, caracterizado pela maior umidade e precipitação atmosférica, o que dificulta a dispersão do poluente.
- O tráfego de veículos existente nas vias analisadas não compromete a qualidade atmosférica do município, porém em alguns horários (num intervalo de 24 horas) causa transtornos à população, com congestionamentos, deixando essas vias mais lentas.
- A formação topográfica do município influencia na dispersão dos poluentes e também contribui na formação de ilhas de calor ou inversão térmica, prejudicando a qualidade de vida da população.
- Por motivos de caráter econômico e administrativo, o número de pontos para medições da qualidade do ar é limitado e, muitas vezes, eles são dispostos em locais inapropriados para bem representar os níveis de poluição emitidos para a atmosfera.

O controle da poluição atmosférica em escala local e/ou regional deve ser realizado constantemente em centros urbanos, por meio da utilização de redes de monitoramento da qualidade do ar. Esta rede de monitoramento constitui um instrumento útil para a segurança da saúde dos cidadãos e do meio ambiente.

6.1 COTEJAMENTOS DA PESQUISA COM O OBJETIVO PROPOSTO

Verificou-se que a hipótese contida nesta pesquisa, de que a poluição atmosférica condiciona a ocupação do espaço urbano no município de Porto Alegre, RS, não ocorre de fato. Esta afirmação é firmada após as análises obtidas no estudo enfatizadas na Figura 29 – Mapa de Conflitos.

6.2 POTENCIALIDADES DO ESTUDO

O zoneamento da concentração dos poluentes para os três pontos amostrais da cidade de Porto Alegre, RS, compõe uma ferramenta dinâmica que fornece informações, dados e elementos para a gestão dos espaços e do ambiente e para intervenção de várias ordens do município. Os resultados aqui apresentados constituirão um banco de informações essenciais para o desenvolvimento de novas pesquisas que visem ao desenvolvimento de estratégias futuras para manter a qualidade de vida da população. Estes dados fornecem as informações necessárias ao estabelecimento de prioridades de intervenção, o estudo e também o desenho dos cenários e das hierarquias de soluções e benefícios, e, ainda, para programar as diferentes ações e os respectivos custos.

Com alguns ajustes do software, pode-se pensar em integrar esses dados de dispersão do poluente com diferentes concentrações em sistemas de Informação Geográfica municipal, como nova camada de informação da base de dados do ambiente.

Todas estas capacidades constituem caminhos alternativos de desenvolvimento complementar para o mapeamento da poluição atmosférica do município.

Insta ressaltar, no entanto, que a redução na concentração dos poluentes nas zonas urbanas não é uma tarefa simples de ser realizada. A intervenção em uma malha consolidada, como é a situação geralmente encontrada nas cidades, exige certos cuidados especiais e estratégias de longo prazo. As atividades e vivências urbanas não podem ser perturbadas de forma radical, sobretudo se não houver uma percepção clara, por parte do cidadão, de seu benefício.

6.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PESQUISAS FUTURAS

- Não foram levados em consideração fatores que influenciam nas emissões veiculares como:
 - característica da frota veicular (ano, modelo e categoria); e
 - tipo e composição do combustível.
- Não foram trabalhados os dados de volume de veículos que trafegam no entorno das estações de monitoramento da qualidade do ar, por não haver nelas controladores eletrônicos de velocidade.
- Carência dos dados de qualidade do ar atmosférico e de fluxo veicular para o município de Porto Alegre, RS.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13412, de junho de 1995: **Partículas Inaláveis (PM₁₀) por Amostragem de Grande Volume (AGV)**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 13 jul. 2010.

_____. NBR 9546, de setembro de 1986: **SO₂ pela Pararosanilina**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 13 jul. 2010.

_____. NBR 12979, de setembro de 1993: **SO₂ pelo Peróxido de Hidrogênio**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 24 jun. 2010.

Ag SOLVE MONITORAMENTO AMBIENTAL. **Equipamento de dados meteorológicos automáticos, com fabricação segundo a ABNT**. [s.d.]. Disponível em: <www.agsolve.com.br/>. Acesso em: 29 set. 2010.

ARAÚJO, D. R. C. de. **Comparação das simulações de tráfego dos modelos Saturn e Dracula**. 2003. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / Área de conhecimento: Sistemas de Transporte, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

AUER, A.H. Correlation of land use and corer with meteorological anomalies. **Journal of Applied Meteorology**, v.17, n.5, p.636-643, 1978.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 fev. 1986. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 11 ago. 2010.

_____. _____. _____. Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jun. 1986, Seção 1, p.8792-8795. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 11 ago. 2010.

_____. _____. _____. Resolução CONAMA nº 005, de 15 de junho de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 ago. 1989, Seção I, p.15.048. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res0589.html>>. Acesso em: 11 ago. 2010.

_____. _____. _____. Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990. **Correlações**: Complementa a Resolução nº 5/89. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 ago. 1990, Seção 1, p.15937-15939. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 13 nov. 2010.

_____. _____. _____. Resolução CONAMA nº 008, de 6 de dezembro de 1990.

Correlações: Complementa a Resolução no 5/89. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 dez. 1990, Seção 1, p.25539.

Disponível em: <www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 9 jun. 2010.

_____. _____. _____. Resolução CONAMA nº 297, de 26 de fevereiro de 2002.

Correlações: Complementada pela Resolução no 342/03, estabelecendo limites para emissões de gases poluentes pelo escapamento para motocicletas e veículos similares novos. Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.51, 15 mar. 2002, Seção 1, p.86-88. Disponível

em: <www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 28 jul. 2010.

_____. _____. _____. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006.

Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 jan. 2007. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 4 out. 2010.

BUENO, R. C. S.; SAAD, A. R. & OLIVEIRA, P. E. de. Relationship between geoenvironmental parameters and the land use and occupation of Braganza Paulista, São Paulo State, Brazil. **Revista UnG – Geociências**, v.6, n.1, p.134-162, 2007.

CARLOS, A. F. **A Cidade**. São Paulo: Contexto, 1997.

CARNEIRO, M. F. H.; PRAIA, F. C.; CARVALHO, V. C.; AMARAL, J. R.; CHAGAS, J. K.; MEURER, R. & RHODEN, C. R. **Estudo de Genotoxicidade dos poluentes do ar em diferentes áreas da cidade de Porto Alegre: monitoramento *in situ***. Porto Alegre: Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), 2007.

CAVALCANTI, P. M. S. **Avaliação dos impactos causados na Qualidade do Ar pela geração termelétrica**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

CHARLOT, H. M. G.; KANAGARAI, M. & NARAYANAN, R. Modelagem da poluição do ar para a cidade de Chennai utilizando SIG como uma ferramenta. (Traduzido do inglês *Modelling of air pollution for the city of Chennai using GIS as a tool*. 2000, http://www.povertymap.net/publications/do_c/povmap.small.leaf.whole.pdf.) **Mapa Brasil**, 2002.

CORRÊA, R. L. **O Espaço Urbano**. São Paulo: Ática, 1995.

DIAS, Tielle Soares; et al. **Compartimentos de relevo do município de Porto Alegre, RS**. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

ENERGÉTICA Indústria e Comércio Ltda. **Amostradores de grande volume**. 2012.

Disponível em: <<http://energetica.ind.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2010.

FARIA, Caroline. Poluição Visual. Publicação em **InfoEscola– NOTÍCIAS**, 18 jan. 2009.

Disponível em: <<http://www.infoescola.com>>. Acesso em: 11 abr. 2010.

FREITAS, Eduardo de. **Os Pontos Cardeais e suas subdivisões**. 2011. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com>>. Acesso em: 4 abr. 2010.

FREY, M. R.; CAMARGO, M. E. Análise dos indutores da evolução da consciência ambiental. **Revista Qualitas**, João Pessoa, Universidade da Paraíba, v.2, n.3, p.80-96, 2003. Disponível em: <http://www.uepb.rpp.br/revista_qualitas/artigos/artigos_2003/conscienciaambienta.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Relatório sobre o quadro demográfico, geológico e histórico do município de Porto Alegre**. 2010. Disponível em: <www.ibge.org.br/>. Acesso em: 15 set. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Portaria Normativa nº 348, de 3 de março de 1990**. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 8 jul. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Monitoramento das Estações Meteorológicas/Brasil**. 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 28 jun. 2010.

INDRIUNAS, Luís. Como funciona a inversão térmica. **How Stuff Works. Como tudo funciona**. 2007. Disponível em: <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/inversao-termica.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

ISOBÁRICO: In: **Wikipedia** – A enciclopédia livre. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em: 7 nov. 2010.

JACOBI, P. Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, São Paulo, Universidade de São Paulo, p.175-182, 1999. Disponível em: <<http://www.cepam.sp.gov.br>>. Acesso em: 19 fev. 2005.

JUNQUEIRA, E. R. **Utilização de indicadores econômico-financeiros para a Avaliação do Desempenho Ambiental das Organizações**: um estudo exploratório. 2002. 136 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

LAKES ENVIRONMENTAL. **Scilab – software de programação**. 2012. Disponível em: <<http://www.weblakes.com/>>. Acesso em: 8 mar. 2012.

LAZZARI, A. R. **Análise das concentrações de poluentes atmosféricos de Porto Alegre e correlação com fatores meteorológicos**. 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Área de concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC. Santa Cruz do Sul, 2009.

LEITÃO, J. E. A.; REZENDE, V. F. **O Plano Piloto para a Barra da Tijuca e Baixada de Jacarepaguá, intenções e realizações após três décadas**. Rio de Janeiro: Publicação do CREA – RJ, 2004.

LISBOA, H. de M.; KAWANO, M. **Controle da Poluição Atmosférica**. Montreal, dez. 2007. (Primeira versão)

MARTINS, E. M.; MACHADO, M. C. S.; CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G.; MOREIRA, A. & MOREIRA, L. F. Impacto dos fatores meteorológicos na Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Porto Alegre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <www.geografia.fflch.usp.br/inferior/laboratorios/.../2000/.../CBMET2...>. Acesso em: 18 maio 2010.

MEBRATU, D. Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review. **Environmental Impact Assessment Review**, v.18, p.493-520, 1998.

MEDEIROS, Alexandre Mollica. **Bases metodológicas para a incorporação da Variável Ambiental no Planejamento da Expansão Termelétrica no Brasil**. 2003. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

MENEGAT, R. **A emergência da tecno-urbesfera e os novos desafios da geologia urbana**. Porto Alegre: Instituto de Geociências da UFRGS, 2005.

_____; ALMEIDA, G. **Desenvolvimento sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades: estratégias a partir de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed.UFRGS, 2004.

MOREIRA, G. L.; TREVIZAN, S. D. P. O Processo de (re)produção do espaço urbano e as transformações território-ambientais: um estudo de caso. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.3, n.2, p.78-90, dez. 2005. ISSN 1678-698X. Disponível em: <www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm>. Acesso em: 16 ago. 2010.

MUMFORD, L. **The culture of cities**. New York: Harvest/BJ, (1970[1938]). 586 p.

OLIVEIRA, A. M. S. D. F. de; VALLERIUS, D. M.; KOZENIESKI, E. M.; COSTA, F. V. A.; MORAES, F. D.; XAVIER, F. W.; HEBERLE, K. A.; FERNANDES, R. Z.; SILVEIRA, R. F. da; BENNETT, R.; MEDEIROS, R. M. V.; ROUT, S. S.; RECH, T. B. As transformações territoriais e seus agentes como elementos geradores de mobilidade populacional no Bairro Vila Nova em Porto Alegre, RS. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.8, n.23, Edição Especial, p.129-139, 1996. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 29 set. 2010.

OLIVEIRA, J. L. F. **Poluição atmosférica e o transporte rodoviário: perspectivas de uso do gás natural na frota de ônibus urbanos da cidade do Rio de Janeiro**. 1997. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997.

QUERCUS – A.N.C.N.A. Direcção Nacional e os Núcleos Regionais de Lisboa e Porto da Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza. **Partículas inaláveis são pior poluente nos centros urbanos**. Lisboa e Porto, 18 set. 2004. Disponível em: <<http://www.quercus.pt>>. Acesso em: 23 abr. 2010.

PEREIRA, L. A. A.; LOOMIS, D.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; BRAGA, A. L. F.; ARCAS, R. M.; KISHI, H. S.; SINGER, J. M.; BÖHM, G.; SALDIVA, P. H. N. Associations between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil. **Environmental Health Perspectives**, v.106, n.106, p.325-329, Jun.1998.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Decreto nº 9.325, de 30 de novembro de 1988. Regulamenta a Lei Complementar nº 65, de 22 de dezembro de 1981, em relação à emissão de poluentes atmosféricos no Município de Porto Alegre e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, 2 dez. 1988, p.21-28. Disponível em: <<http://www.ambientec.com.br>> / <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smam/ usu_doc/decreto9325.pdf>. Acesso em: 6 maio 2010.

_____. _____. Empresa Pública de Transportes e Circulação - EPTC. **Dados de 24 horas do fluxo veicular das vias Assis Brasil, Bento Gonçalves e Ipiranga**. (Material digital cedido pela EPTC em 2010.)

_____. _____. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental**. 2010. Disponível em: <www.portoalegre.rs.gov.br/>. Acesso em: 13 dez. 2010.

_____. _____. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental. Regime Urbanístico. **Portal PMPA**. 2012. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/portal_pmpa_novo/>. Acesso em: 8 ago. 2010.

_____. _____. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Filmes referentes ao Parque Saint-Hilaire e à poluição do ar**. Porto Alegre: Prisma Produções, 1990.

_____. _____. Secretaria de Planejamento Municipal – SPM. **Planejamento**. [s.d.]. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=220>. Acesso em: 13 mar. 2010.

REDAÇÃO TERRA. Protocolo de Kyoto entra em vigor após sete anos. **Terra Notícias**, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/ciencia/interna/0,,OI472859-EI299,00.html>>. Acesso em: 16 fev. 2005.

REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE. Disponível em: <<http://portoalegre.rs.gov.br>>. Acesso em: 27 ago. 2010.

RIGATTI, D.; ZAMPIERI, F. L. **Mapas da Região Metropolitana de Porto Alegre**. [recurso eletrônico], Porto Alegre: PROPUR/UFRGS, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Lei Estadual nº 11.520, de 3 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, 3 ago. 2000. Disponível em: <http://defender.org.br/uploads/lei_11520_2000.pdf> / <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2010.

SAITOH, K.; SERA, K.; SHIRAI, T. Chemical characterization of particles in Winter – night smog in Tokyo. **Atmospheric Environment**, v.36, p.435-440, 2002.

SALDIVA, P. (Coord.). **Meio ambiente e o desafio da saúde: metrópoles**. São Paulo: Instituto de Saúde e Sustentabilidade, 2010.

SANTOS, L. D.; MARTINS, I. A Qualidade de Vida urbana: o caso da cidade do Porto. **Working Papers da FEP - Faculdade de Economia do Porto**. Trabalhos em curso n.116, maio 2002. Porto: Faculdade de Economia, Universidade do Porto, 2002.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade do ar na região metropolitana de São Paulo – RMSP – 2002**. São Paulo: CETESB, 2002.

_____. _____. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2000**. São Paulo: CETESB, 2010.

SCILAB. **Free Open Source Software for Numerical Computation**. [s.d.]. Disponível para download em: <<http://www.scilab.org>>. Acesso em: 14 maio 2010.

SILVA, G. Processo de ocupação urbana da Barra da Tijuca/RJ: problemas ambientais, conflitos socioambientais, impactos ambientais urbanos. **Pesquisa em Arquitetura e Construção – PARC**, v.1, n.1, [não-paginado], 1^o out. 2006. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~parc/vol1-n1.htm>>. Acesso em: 28 out. 2010.

SCHWARTZ, J.; SPIX, C.; TOULOMI, G; BACHÁROVÁ, L.; BARUMAMDZADEH, T.; TERTRE, A.; PIEKARKSI, T.; PONCE DE LÉON, A.; PÖNKA, A.; ROSSI, G.; SAEZ, M.; SCHARTEN, J. P. Methodological issues in studies of pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. **Journal of Epidemiology and Community Health**, Londres, v.50, s.1, p.S3-S11,1996.

SOUZA, L. C. L.; RAMOS, R. A. R.; SILVA, A. N. R; MENDES, J. F. G. Cidades sustentáveis: um desafio comum para Brasil e Portugal. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3. São Paulo, 1983. **Anais...** São Paulo, 1983.

SPIEGEL, Murray R. **Estatística**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1976.

TIRABASSI, T. Dispersão euleriana na camada limite planetária. In: MOREIRA, D. M. **Tópicos em turbulência e modelagem da dispersão de poluentes na camada limite planetária**. Porto Alegre: Ed.UFRGS, 2005.p. 59-77.

ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. **A Qualidade do Ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMAM, 2000.

WENZEL, G. M.; LOPEZ, H. F. & ALÉ, J. A. V. Estudo da implementação de sistemas eólicos em prédio da Empresa Auxiliadora Predial. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 4. Recife, PE, 22 a 25 de agosto de 2006. **Anais...** São Paulo: ABCM - Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Particulate matter air pollution: how it harms health**. Berlin, Copenhagen, Rome, 14 abr. 2005. 4p. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/document/mediacentre>>. Acesso em: 22 out. 2010.

ZANNETTI, Paolo. **Air Pollution Modelling: theories, computational methods and available software**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

ANEXOS

Há muita informação complementar à pesquisa aqui realizada; por sua grandeza, fez-se necessário colocá-la nos anexos. Os anexos são imagens que constituem um tipo de informação relacionada com os assuntos abordados ao longo do trabalho aqui realizado, que servem de fundamentação, comprovação e ilustração do tema.

Convém que a informação complementar seja incluída em um CD, subdividida em cinco pastas, compreendendo cada uma um anexo da pesquisa.

O Anexo A faz referência à Divisão Territorial e Zoneamento de Usos do Município de Porto Alegre, RS. O Anexo B refere-se aos Dados de Monitoramento da Qualidade do Ar de Porto Alegre, RS, estes de responsabilidade do órgão ambiental FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, RS. O Anexo C traz os mapas de direção e velocidade do vento para o município na pesquisa tratada. O Anexo D compreende o mapa de classificação das Macrozonas, que somam um montante de nove, sendo sete na Área de Ocupação Intensiva e duas na Área de Ocupação Rarefeita. O quinto e último anexo corresponde às atividades sujeitas ao estudo de viabilidade urbanística obrigatório.