

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**POLUIÇÃO DO AR POR MATERIAL PARTICULADO
NO BAIRRO CENTRO DE SANTA MARIA/RS: UMA
ANÁLISE A PARTIR DE VARIÁVEIS GEOURBANAS E
GEOCOLÓGICAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

José Renato Rocha

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**POLUIÇÃO DO AR POR MATERIAL PARTICULADO NO
BAIRRO CENTRO DE SANTA MARIA/RS: UMA ANÁLISE A
PARTIR DE VARIÁVEIS GEOURBANAS E GEOCOLÓGICAS**

por

José Renato Rocha

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Meio Ambiente e Sociedade, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

Orientador: Prof. Dr Adriano Severo Figueiró

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**POLUIÇÃO DO AR POR MATERIAL PARTICULADO NO BAIRRO
CENTRO DE SANTA MARIA/RS: UMA ANÁLISE A PARTIR DE
VARIÁVEIS GEOURBANAS E GEOCOLÓGICAS**

elaborado por
José Renato Rocha

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Adriano Severo Figueiró, Dr.
(Presidente/Orientador)

Maria da Graça de Barros Sartori, Dr^a. (UFSM)

João Carlos Nucci, Dr. (UFPR)

Santa Maria, 27 de novembro de 2008.

".....Um homem precisa viajar.Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar o calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser, que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver" (Amyr Klink, 1998)

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação e à assistência estudantil oferecida neste período, a qual auxiliou muito para a finalização de mais esta etapa de estudos.

As pessoas que disponibilizaram o pátio de suas casas para que se pudesse instalar os experimentos de pesquisa, principalmente o “seu Humberto” pelo grande interesse e idéias para elaboração de novos materiais.

Ao professor Adriano Severo Figueiró, pela orientação, paciência, pelo grande alcance de sua visão, que é proporcionado pelo vasto conhecimento, e incentivo nos momentos mais difíceis, principalmente durante os trabalhos de campo, colaborando, de forma decisiva, para a finalização desta dissertação.

A professora Maria da Graça, pelas dicas e conselhos quando da qualificação desta pesquisa, bem como às discussões pertinentes ao clima de Santa Maria na análise dos dados atmosféricos.

À minha família, pelo carinho e incentivo que ajudaram a alcançar mais este ideal.

A todos os amigos e, principalmente, aos companheiros remanescentes Bruno, Rogério e Carlos “Batateiro”, pela amizade e parceria em todos os momentos.

À Manuela, mesmo à distância, pelo carinho e companheirismo.

E ainda, a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal de Santa Maria

POLUIÇÃO DO AR POR MATERIAL PARTICULADO NO BAIRRO CENTRO DE SANTA MARIA/RS: UMA ANÁLISE A PARTIR DE VARIÁVEIS GEOURBANAS E GEOCOLÓGICAS

AUTOR: José Renato Rocha

ORIENTADOR: Adriano Severo Figueiró

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de novembro de 2008.

O objetivo dessa pesquisa é o de verificar a concentração de material particulado nas principais ruas e avenidas do bairro Centro de Santa Maria/RS, relacionando, como variáveis de influência, as condições geoecológicas e a estrutura urbana local. Os objetivos específicos buscam: (a) Realizar um zoneamento das principais ruas e avenidas do bairro Centro quanto ao potencial de deposição de material particulado; (b) Estimar a quantidade de material particulado emitido, e sua variação temporal ao longo do ano; (c) Quantificar o fluxo de ônibus nas ruas e avenidas pesquisadas e demais ruas de fluxo significativo, estabelecendo um mapeamento das principais rotas de tráfego (d) Correlacionar a ocorrência dos principais tipos de tempo atmosférico com os índices de emissões de particulados armazenados na base de dados da Fepam/RS; (e) Realizar um mapeamento da vegetação no bairro Centro, em escala de detalhe, buscando estabelecer a correlação entre a cobertura vegetal existente e a quantidade estimada de emissão de material particulado. A metodologia de pesquisa caracterizou-se pela elaboração de um zoneamento ambiental do bairro Centro com enfoque na qualidade do ar. Posteriormente realizou-se a busca das concentrações de material particulado, em trabalho de campo, e dados secundários referentes ao material particulado inalável extraídos da FEPAM/RS. A terceira etapa consistiu no cruzamento dos dados de material particulado com o mapa de zoneamento, com vistas a estabelecer possíveis correlações e, também, testar a eficácia do zoneamento ambiental no que se refere à qualidade do ar. A última etapa consistiu na análise e cruzamento dos dados referentes às concentrações de material particulado e a sucessão habitual dos tipos de tempo em Santa Maria/RS. Constatou-se que grande parte das ruas e avenidas demonstraram quantidades de particulados condizentes com o que foi pré-estabelecido no zoneamento ambiental. Verificou-se que as deposições foram bem diferenciadas conforme o local de coleta, não sendo possível estabelecer uma relação que evidencie nível de deposição com período do ano. A investigação da relação entre as concentrações de material particulado inalável com a sucessão habitual dos tipos de tempo, demonstrou a existência de uma grande correlação quanto ao número de dias de concentração acima de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ com os meses de inverno para a cidade de Santa Maria. De maneira geral, pode-se dizer para o caso da cidade de Santa Maria, o fluxo de veículos constitui-se no principal fator de contribuição na deteriorização da qualidade do ar.

Palavras-chaves: Poluição do ar; material particulado; tipos de tempo.

ABSTRACT

Dissertation of Master's degree
Program of Master's degree in Geography
Federal University of Santa Maria

AIR POLLUTION IN SANTA MARIA/RS CITY IN FACE OF URBAN AND GEOLOGICAL ASPECTS

AUTHOR: José Renato Rocha
ADVISOR: Adriano Severo Figueiró

Date and Place of the Presentation: Santa Maria, november 27th, 2008.

The purpose of this research is verified the concentration of particulate matter in the principals streets and avenues of Centro district of Santa Maria city/RS, making an association between geoecological conditions and the local urban structure. The specifics purposes are (a) make a zoning of Centro district's principals streets and avenues with their deposition potential of particulate matter. (b) Estimate the quantity of particulate matter emitted and its temporal variation through the years studied. (c) Quantified the bus fluxes in the streets and avenues researched, and others streets that have a significance flux; therefore a mapping of the principals' traffics rote in the Center neighborhood can be made. (d) Correlate the occurrence of the principals' atmospheric weather's type with the particulate emissions' index stocked in FEPAM/RS's data basis. The research methodology was characterized for the environmental zoning's elaboration in the Centro district with focus on the air's quality. Lately, an investigation of particulate matter was made, using field work and secondary data related to inhale particulate matter, consulted in FEPAM/RS. The third stage consists in an intersection between particulate matter's data and the zoning map, with the intention of establish possible correlations and test the environmental zoning's efficiencies. The last stage consists in analyses the datas intersectioned relative to particulate matter concentrations suitable with what was pre-establish in the environmental zoning. Was verified that if the depositions were very differenced accordant to local collection, therefore, it wasn't possible to establish one relation that evidences the depositions level with the year's period. The investigation of the relation between inhalable particulate matters and habitual succession of atmospheric weather's type, it demonstrated the existence of a big correlation of day's concentration number up to 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with winter's mouths for Santa Maria city. For this case we can say that the vehicles fluxes consisted in the principal factor that collaborated to air's quality deterioration.

Keywords: matter particulate, air's quality, weather's type.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Localização da área urbana de Santa Maria, com destaque para fragmentos isolados de Floresta Estacional Decidual.....	15
FIGURA 2 – Gráfico referente à evolução da população urbana e rural no Brasil no período de 1940 a 2000 (%)......	22
FIGURA 3 – Quadro com os efeitos dos principais poluentes da atmosfera.....	31
FIGURA 4 – Quadro com os riscos à saúde referente à exposição ao material particulado inalável.....	35
FIGURA 5 – Nível de material particulado em treze megacidades do planeta, em comparação com o padrão primário (80mg/cm ³) de segurança estabelecido.....	38
FIGURA 6 - : Foto da escassa arborização da praça central (atual Saldanha Marinho) da cidade de Santa Maria no ano de 1905.....	46
FIGURA 7 – Vista parcial da arborização do bairro Centro de Santa Maria no ano de 1935 (na foto como principal eixo viário a Avenida Rio Branco).....	47
FIGURA 8 – Vista parcial da arborização do bairro Centro de Santa Maria no ano de 2008 (na foto como principal eixo viário a Avenida Rio Branco).....	48
FIGURA 9 – Localização da área em estudo.....	57
FIGURA 10 – Vista da Avenida Presidente Vargas.....	58
FIGURA 11 – Vista da Rua do Acampamento.....	58
FIGURA 12 – Imagem parcial do sítio urbano da cidade com a direção dos ventos mais importantes.....	59
FIGURA 13 – Roteiro metodológico adotado para esta pesquisa.....	60
FIGURA 14 - Material artesanal para coleta de material particulado.....	63
FIGURA 15 - Deposição de material particulado nas placas de coleta, uma limpa e outras duas sujas após exposição.....	63
FIGURA 16 - Mapa de distribuição dos pontos de coleta de material particulado.....	67

FIGURA 17 - Mapa da cobertura vegetal arbórea do bairro Centro de Santa Maria/RS.....	75
FIGURA 18 - Mapa dos principais fluxos de ônibus no bairro Centro de Santa Maria/RS.....	76
FIGURA 19 – Mapa contendo a espacialização das variáveis utilizadas na elaboração do zoneamento ambiental.....	78
FIGURA 20 – Quadro com as matrizes de cruzamento das variáveis ambientais para a definição do potencial de deposição de mp.....	79
FIGURA 21 - Mapa de zoneamento ambiental quanto a deposição de material particulado.....	81
FIGURA 22 - Valores médios para as concentrações de material particulado ao longo de todos os episódios coletas.....	83
FIGURA 23 - Deposição média de material particulado nas ruas e avenidas utilizadas como ponto de coleta no bairro Centro em (mg/cm ² /dia).....	85
FIGURA 24 - Perfil topográfico em parte da Rua André Marques.....	87
FIGURA 25 - Perfil topográfico em parte da Avenida Medianeira.....	88
FIGURA 26 - Perfil topográfico de parte da Avenida Rio Branco.....	90
FIGURA 27 – Gráfico referente ao comportamento das concentrações de poeiras ao longo dos episódios de coleta.....	96
FIGURA 28 - Gráfico referente ao comportamento dos locais de maiores concentrações de material particulado ao longo dos episódios de coleta.....	98
FIGURA 29 - Dias de elevada concentração de mp e respectivo domínio de massa de ar.....	103
FIGURA 30 - Número de dias da semana de concentração de mp acima de 50 µg/cm ³	104
FIGURA 31 - Concentração média de material particulado para inverno e verão de 2005 e 2006.....	105
FIGURA 32 - Gráfico referente às concentrações de material particulado e as quantidades de precipitações para o inverno de 2006.....	114
FIGURA 33 - Gráfico referente às concentrações de material particulado e as quantidades de precipitações para o inverno de 2005.....	115
FIGURA 34 - Gráfico referente às concentrações de material particulado e as quantidades de precipitações para o verão de 2005.....	116

FIGURA 35 - Gráfico referente às concentrações de material particulado e as 116
quantidades de precipitações para o verão de 2006.....

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Valores obtidos na realização das coletas a campo (mg/m ² /dia).....	84
TABELA 2 – Dias da semana com elevada concentração de mp na cidade de Santa Maria e respectivo domínio de massa de ar.....	104
TABELA 3 – Concentração média de material particulado para inverno e verão de 2005 e 2006.....	106
TABELA 4 – Características atmosféricas dos dias de inverno de 2005 com concentrações de mp>50µg/m ³	109
TABELA 5 – Características atmosféricas dos dias de inverno de 2006 com concentrações de mp>50µg/m ³	110
TABELA 6 - Características atmosféricas dos dias de verão de 2005 com concentrações de mp>50µg/m ³	111
TABELA 7 – Características atmosféricas dos dias de verão 2006 com concentrações de mp>50µg/m ³	111
TABELA 8 – Índices de precipitação (em mm) de inverno e verão de 2005 e 2006.....	112

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
1.1 A geoeologia e a qualidade ambiental urbana.....	18
1.2 A poluição do ar em espaços urbanos.....	25
1.2.1 Poluição do ar por material particulado.....	32
1.3 A importância da vegetação em ambientes urbanos.....	39
1.3.1 Relação entre vegetação e qualidade do ar.....	42
1.4 O estado da arte acerca do estudo do verde urbano de Santa Maria.....	45
1.5 Breve revisão da relação entre ventos e a dispersão de material particulado.....	52
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	55
2.1 Recorte espacial da pesquisa.....	55
3 MÉTODOS E TÉCNICAS.....	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.1 Mapeamento das variáveis utilizadas na elaboração do zoneamento ambiental do bairro Centro.....	73
4.2 Zoneamento ambiental quanto ao potencial de deposição de material particulado para o bairro Centro de Santa Maria.....	74
4.2.1 Cruzamento entre as variáveis em análise.....	77
4.3 Análise dos dados absolutos referente aos valores das concentrações verificados nas ruas e avenidas do bairro Centro.....	82
4.4 Comparação das concentrações de material particulado através da análise de correlação.....	93
4.5 Relação entre os valores coletados a campo de material particulado e sua relação com o mapa do potencial de deposição.....	98
4.6 Relação entre as concentrações de material particulado os tipos de tempo	100
4.6.1 Relação entre as concentrações de material particulado e as estações do ano.....	105
4.6.2 Relação entre as concentrações de material particulado e as precipitações ocorridas nos meses de inverno e verão.....	112

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
REFERÊNCIAS.....	123

INTRODUÇÃO

A urbanização nos dias de hoje tornou-se um processo irreversível, principalmente após a revolução técnico-científico-industrial que ocorreu no século XX, se tornando praticamente um fenômeno mundial. Na Inglaterra, por exemplo, em 1960, 80% da população concentrava-se em áreas urbanas (NASCIMENTO, 1992). Ainda, conforme Mendonça (1994), nos países não desenvolvidos ou emergentes, a urbanização se desenvolveu de forma desordenada, principalmente a partir da década de 40, como resultante do êxodo rural, que deu origem a várias novas cidades e ao crescimento das já existentes. Destituídas de um planejamento urbano adequado, elas vêm apresentando ambientes onde a degradação física e social são flagrantes.

A cidade de Santa Maria não representa uma exceção ao modelo de urbanização das cidades médias brasileiras, sendo que o processo histórico de ocupação de seu território responde pela retirada e/ou fragmentação de uma formação florestal que originalmente se estendia a partir do rebordo do planalto, penetrando pela várzea dos rios que ali tem a sua origem (LUCAS, *et al* 2008).

Cabe lembrar que, ao ocupar o sopé da montanha a partir de uma densificação urbana que desconsiderou a existência de parques ou áreas verdes, a cidade de Santa Maria condenou os fragmentos florestais à jusante da área urbana, a um processo de isolamento (FIGURA 1) que, invariavelmente, tem levado a uma redução expressiva da biodiversidade local (FIGUEIRÓ, 1997).

Paulatinamente, o ser humano passa a entender a necessidade de preservação da natureza, não da natureza “mistificada”, intocável, mas da natureza integrada às diferentes formas de uso do solo e desempenhando importantes e necessárias funcionalidades que auxiliam na regulação dos processos ambientais em curso.

A cidade não funciona como um ambiente fechado em que o homem encontra tudo o que necessita, mas sim como um sistema aberto, dependendo de recursos do meio ambiente.

Com isso, o homem altera o meio natural para retirar tudo o que é consumido e produzido em industrialmente fazendo com que a sociedade adquira mais do que o

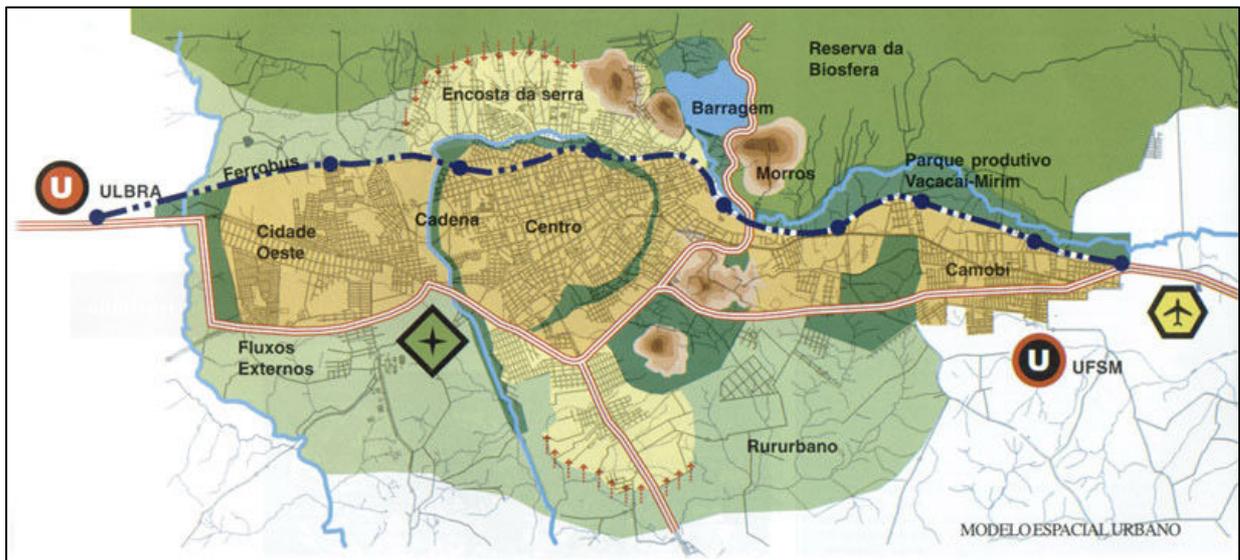


FIGURA 1- Localização da área urbana de Santa Maria, com destaque (em verde-escuro) para fragmentos isolados de Floresta Estacional Decidual
 Fonte: Plano Diretor de Santa Maria

necessário para sua sobrevivência, tornando a eliminar seus resíduos no meio ambiente. Este processo torna-se cada vez mais acelerado e a natureza não consegue absorver e se recuperar na mesma proporção, gerando muitas vezes modificações, transformações e degradações irreversíveis com prejuízos ao ambiente natural e social.

A cidade pode ser entendida como um ecossistema urbano¹ que possui necessidades biológicas, essenciais à sobrevivência da população e requisitos culturais.

No que tange aos problemas relacionados a esse uso insustentável do meio ambiente urbano, a qualidade do ar em nossas cidades, principalmente em grandes centros urbanos, e nas últimas décadas, tem sido alvo de grandes discussões, tanto no meio acadêmico, por cientistas, intelectuais, quanto também em noticiários, jornais e revistas de todo mundo. Mas o interesse por este tema, muitas vezes fica só nas discussões que envolvem segmentos restritos da sociedade, fazendo com

¹ Por entender a cidade como um ecossistema, por analogia aos ecossistemas naturais ela é incompleta. O fluxo de energia e matéria, característico de todo ecossistema e que mantém a sua autonomia, ou o seu autonomismo, por comparação com os sistemas cibernéticos, que leva o ecólogo Ramóm Margaleff a considerar a natureza como um canal de informação - é, no sistema urbano, parcial e unidirecional, uma vez que a cidade é apenas um local de consumo, estando os centros produtores situados fora do seu território. Além disso os elementos que vêm das áreas produtoras para as de consumo não têm retorno, acumulando-se nestas, na forma de poluentes, excesso de energia, geração de entropia. Do ponto de vista termodinâmico, a cidade é um sistema em permanente desequilíbrio (MOTA, 1999 p. 30)

que a maioria da população não tenha acesso ao conhecimento necessário para a tomada de consciência ou para a criação de instrumentos efetivos de reivindicação.

Observa-se na bibliografia brasileira, especialmente no que se refere aos trabalhos de cunho geográfico, um leque não muito grande de trabalhos e estudos realizados. Para cidades de porte médio e grande, este assunto deveria receber maior atenção por parte dos planejadores, gestores urbanos e ambientais.

Na cidade de Santa Maria, desde 1975, pesquisadores da UFSM verificaram que a média mensal de poeira na cidade superava, em algumas épocas, o limite permitido pela Organização Mundial da Saúde. Esse material particulado tinha origem: "... nas ruas sem calçamento da periferia, nas queimas de lixo, nas queimas de casca de arroz nos engenhos da cidade, etc" (SARTORI, 1979, p.138).

A investigação da relação existente entre as estruturas urbanas e geoecológicas locais (verde urbano, o fluxo de veículos, condições atmosféricas) e a influencia destes fatores nos índices de poluentes do ar, principalmente material particulado, é de grande valia, principalmente no que se refere à identificação e respectivo zoneamento das principais áreas de comprometimento da qualidade do ar na atmosfera da cidade de Santa Maria, verificando se estas áreas estão contribuindo para o aumento dos problemas de saúde e redução da qualidade de vida da população.

Neste sentido, uma análise que considere os interesses sociais e os atributos geoecológicos dos locais afetados pode proporcionar medidas de planejamento que resultem em uma melhor qualidade de vida aos habitantes de áreas urbanas.

Devido às características econômicas da cidade de Santa Maria, pólo regional em prestação de serviços, destacando-se nos setores educacional, militar, médico-hospitalar, com déficit de produção industrial, infere-se que a maior parte da poluição do ar na cidade é devida principalmente aos veículos que circulam em suas vias estreitas, e não de fumaças de origem industrial.

A busca da relação existente entre estes fatores de origem natural, bem como de origem antrópica, e a quantidade de material particulado nas principais ruas e avenidas da cidade, pode levar a resultados interessantes no que se refere à qualidade ambiental na qual vivem os habitantes de Santa Maria.

Neste sentido, o objetivo principal desta pesquisa foi o de verificar a concentração de material particulado nas principais ruas e avenidas do bairro Centro de Santa Maria/RS, relacionando, como variáveis de influência, as condições

geoecológicas (condições atmosféricas predominantes, presença ou não de arborização, principais ventos) e a estrutura urbana local (fluxo de veículos, direção do arruamento).

Colocaram-se como objetivos específicos desta pesquisa:

- Realizar um zoneamento das principais ruas e avenidas do bairro Centro quanto ao potencial de deposição de material particulado.
- Estimar a quantidade de material particulado emitido no bairro Centro, e sua variação temporal ao longo do ano.
- Quantificar o fluxo de ônibus nas ruas e avenidas pesquisadas e demais ruas de fluxo significativo, estabelecendo um mapeamento das principais rotas de tráfego no bairro Centro.
- Correlacionar a ocorrência dos principais tipos de tempo atmosférico com os índices de emissões de particulados armazenados na base de dados da FEPAM/RS para o bairro Centro de Santa Maria.
- Realizar um mapeamento da vegetação no bairro Centro, em escala de detalhe, buscando estabelecer a correlação entre a cobertura vegetal existente e a quantidade estimada de emissão de material particulado.
- Propor estratégias de gestão ambiental que auxiliem no processo de planejamento, com vistas a reduzir o impacto causado por este tipo de poluição na cidade e conseqüentemente aos seus habitantes.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a análise das concentrações de poluentes em áreas urbanas, no caso o material particulado, é necessário um embasamento teórico que permita a interpretação da realidade “in loco”, a partir da análise das variáveis geourbanas e geoecológicas que influenciam na dispersão/atenuação dos poluentes do ar. Revisitar temáticas como a questão ambiental urbana, poluição do ar, e também a poluição do ar por material particulado tornam-se imprescindíveis nesta pesquisa e serão abordados neste capítulo.

1.1 A geoecologia e a qualidade ambiental urbana

As análises geoecológicas pautadas em geoprocessamento vêm sendo cada vez mais utilizadas na busca da resolução das necessidades complexas e integrativas assumidas pelos estudos ambientais.

A geoecologia ou ecologia da paisagem surgiu em decorrência da necessidade de compreensão das relações do meio ambiente e sua dinâmica. Para isso, é fundamental uma visão integrada dos aspectos físicos e ecológicos de sistemas naturais e de suas interações com os fatores sócio-econômicos e políticos (Haines-Young *et al*, 1993). Estudando a dinâmica da paisagem e a sua utilização pelos indivíduos, populações e comunidades, que se possibilita a criação de uma base teórica-conceitual capaz de orientar decisões de planejamento e de gestão urbana, evitando e/ou resolvendo conflitos ambientais e qualificando positivamente nossas cidades.

Neste sentido, e tomando como ponto de partida a qualidade ambiental dos centros urbanos, verifica-se que esses muitas vezes apresentam características desfavoráveis para uma boa qualidade de vida da população, pelo contexto geral vivido no seu cotidiano, como: trânsito intenso, rios, solos e ar poluídos, e tantos outros problemas. Com os níveis de degradação ambiental tornando-se cada vez mais críticos em diversos países, esta situação vem merecendo maior atenção nas universidades, bem como nos meios de comunicação, principalmente pela estreita relação que o meio ambiente urbano tem com a saúde humana.

De tempos em tempos a ciência e a sociedade elegem determinados temas como objeto preferencial de ação, reflexão e debate. Com efeito, a Geografia brasileira apresentou, nos últimos anos, significativo acúmulo de conhecimento associado à temática ambiental, aqui compreendida como aquela que tem por objeto a análise da relação sociedade x natureza (SALES, 2004).

Dessa forma, a geoecologia é uma forma de análise do espaço que busca analisar a maneira com que essa série de processos interage e provém a base teórica para o entendimento do impacto do homem no ambiente e o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentáveis.

Para Flores (1998) *et al*, a qualidade ambiental é um paradigma atual dos profissionais do planejamento e, dentro deste paradigma, a incorporação do conhecimento ecológico é considerada como uma estratégia para proteger e restaurar os serviços e recursos na natureza.

A questão ambiental está intimamente vinculada à produção e a apropriação social do espaço. A cidade, resultado da transformação do espaço natural pelo homem e da forma de organização da sociedade, não pode ser separada da análise das dinâmicas e processos da natureza (LIMA, 2005).

Segundo Rodrigues, 2001 (*apud* Henrique 2004, p.36), o cotidiano da cidade grande faz com que a natureza seja vista como fonte de “recuperação das energias”. Assim, a presença da natureza é uma forma de renovação da vida estressante e rápida da cidade. Contraditoriamente, “na cidade, a ‘natureza’ precisa ser abolida para o porvir humano”.

Com o passar dos anos e a evolução de conceitos de ecologia e meio ambiente físico, bem como o aumento das preocupações dos efeitos advindos da revolução tecnológica sofrida até o final do século XX, a qualidade de vida também passou a ser vinculada à questão da sustentabilidade do ambiente, conceito que liga a sobrevivência e manutenção de vidas futuras à preservação e cuidado com os recursos naturais atuais (CUNHA, 2002).

Ainda, segundo Cunha (*op cit*, p.42):

Alguns padrões de qualidade levam em conta as variáveis como saúde, atividade, liberdade, segurança, status, educação, sociabilidade, além de outras tantas, mas todos envolvem a maneira de cada um ver a vida, dependendo do seu repertório sócio-econômico e cultural. Muitos autores concordam, no entanto, que estas variáveis vão além das necessidades básicas do homem em relação ao abrigo e a alimentação (sobrevivência), incluindo aspectos de equilíbrio entre o social e o psicológico. Por isso, em

muitas análises de ambientes urbanos, se dá especial importância ao lazer e recreação ou às formas de relacionamento do homem com os espaços em estudos de ambiente e comportamento.

Neste sentido, as questões ambientais em consonância à qualidade de vida são, hoje, preocupações que não podem deixar de lado os processos de gestão das cidades. O meio ambiente e o ecossistema urbano, atualmente, têm sua definição pautada em questões que extrapolam a própria ciência e que buscam raízes até na subjetividade humana, buscando a sua qualificação em prol da qualidade de vida dos indivíduos. A noção de bem-estar do homem esta associada à questão da qualidade do meio físico e social que são traduzidos por serviços de infra-estrutura, de saúde, recreação e lazer, comerciais e presença de áreas verdes.

Como salienta Marques (2005, p. 97):

Bem ambiental é toda coisa, material ou imaterial que, relacionando-se com o homem, traz-lhe um benefício, referente (1) à preservação da vida, (2) ao seu bem estar, à saúde e à segurança, ou, mais propriamente, à sadia qualidade de vida, tal como expressamente conclui o artigo 225, *caput*, da Constituição Federal.

É necessário, dessa forma, estarem presentes, para a caracterização de bem ambiental, dois requisitos: o bem de uso comum do povo e a necessidade de ser essencial à sadia qualidade de vida (MARQUES, *op. cit.*).

Hoje, já se tem conhecimento suficiente para saber que qualquer alteração no meio ambiente, pode se refletir de forma a ter conseqüências que influenciam diferentemente nos vários segmentos e espaços da cidade, coincidindo na redução da qualidade ambiental.

O crescimento acelerado das cidades observado nas últimas décadas do século XX trouxe e vem trazendo consigo diversas problemáticas e inquietações, principalmente no que diz respeito à qualidade ambiental. Isto ocorre ainda de maneira mais incisiva, quando este crescimento urbano não vem acompanhado de planejamento e demonstra-se insustentável na sua relação com a natureza.

Durante muito tempo o homem tratou e viu a cidade como se ela fosse separada da natureza e tentou resolver os problemas urbanos de forma isolada, sem considerar a interligação entre o social e o natural do fato urbano. A poluição do ar e da água, as enchentes, os deslizamentos, a erosão do solo, o consumo elevado de

energia, resultam do tratamento conferido pelo homem em suas relações com a natureza (VITAL, 2006).

Para Mello (1995, p. 23):

Os problemas ambientais que vivenciamos atualmente não são novos, mas sim um agravamento de um conjunto de problemas antigos, pois o surgimento e consolidação das sociedades, desde os tempos mais remotos, sempre se deu à custa de transformações e explorações do espaço e dos recursos naturais disponíveis na natureza, ocasionando impactos ambientais.

Atualmente, grande parte da população mundial está fixada em cidades, processo que começou a se intensificar após o século XIX, a partir da Segunda Revolução Industrial, período marcado pelo rápido aumento populacional nas cidades. O impacto deste processo foi à degradação destes espaços e ambientes, os tornando-os de baixa qualidade. A incorporação de elementos do ambiente natural nas cidades pode ser considerada um instrumento fundamental para evitar e/ou minimizar os impactos gerados (LIMA, 2005).

Para Danni-Oliveira (2004, p.102):

os problemas ambientais que decorrem do intenso crescimento populacional das cidades em consórcio com os advindos dos aspectos sócioeconômicos, em muitas cidades e áreas metropolitanas nacionais resultam, frequentemente, em situações de colapso de seu meio, quer por episódios de transbordamento de seus rios ou de sua rede de esgotos pluviais, de desmoronamentos das vertentes de seus morros, quer por situações de alto comprometimento da qualidade do ar que seus moradores respiram.

Quando se fala em degradação ambiental para o caso brasileiro, pode-se dizer que um momento merece destaque em relação ao meio ambiente urbano: o período da rápida industrialização do país, ocorrida a partir do pós-guerra, e a urbanização acelerada que foi acarretada como consequência deste fenômeno. No curso deste processo, reflexo das políticas desenvolvimentistas então vigentes, uma série de regras de proteção ao meio ambiente e ao cidadão foram desrespeitadas ou mesmo desconsideradas. Desde os anos 50, a formação das cidades brasileiras vem construindo um cenário de contrastes, típico das grandes cidades do “terceiro mundo”. A maneira como se deu a criação da maioria dos municípios acabou

atropelando os modelos de organização do território e de gestão urbana tradicionalmente utilizados, mostrando-se inadequada. O resultado tem sido o surgimento de cidades sem infra-estrutura e disponibilidade de serviços urbanos capazes de comportar o crescimento provocado pelo contingente populacional que para lá migrou (NEFUSSI; LICCO, 2007).

Uma demonstração disto é o crescimento da população urbana evidenciado nos últimas três décadas do século XX no Brasil (FIGURA 2). Segundo dados do IBGE (2001), na década de 70 o Brasil contava com 30,5% da sua população vivendo nas cidades, chegando o ano 2000, esse número atinge 81% do total morando em áreas urbanas, fato este que num país carente de investimentos em infra-estrutura urbana como é o caso do Brasil, traz normalmente como consequência um grande leque de problemas ambientais.

Esse grande contingente populacional que migrou para as áreas urbanas contribuiu para determinar um empobrecimento da paisagem natural e um aumento acentuado do processo de artificialização, o que leva alguns autores a falar até mesmo na existência de uma “urbanosfera” Lago(1991 *apud* FIGUEIRÓ, 2005).

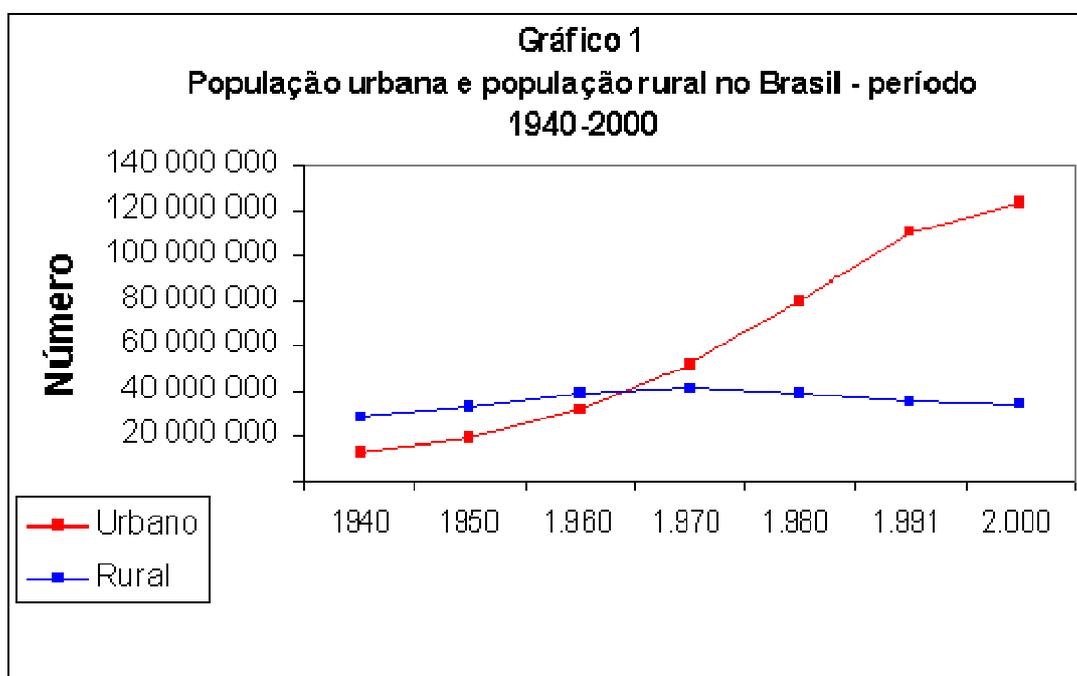


FIGURA 2 - Gráfico referente à evolução da população urbana e rural no Brasil no período de 1940 à 2000 (%).

Fonte:IBGE, 2001.

Este rápido crescimento populacional urbano não veio e nem está vindo acompanhado de grandes planos urbanísticos para assentar, com o mínimo de infraestrutura necessária, toda essa demanda a mais de população. Isso faz com que as cidades, já “inchadas”, venham arcar com graves problemas urbanísticos originados deste crescimento populacional acelerado e desorganizado. Dentre estes problemas, tem-se aqueles originados por desequilíbrios ambientais, prejudicando de várias formas o meio ambiente urbano.

De acordo com Arantes (2003), os impactos ambientais em áreas urbanas são potencializados pelo adensamento demográfico, ao mesmo tempo em que existem sérios problemas relacionados à infra-estrutura básica durante a formação e crescimento das cidades.

Sendo o espaço urbano o lugar de produção e transformação de matéria prima, e também o lugar de grandes trocas de energia e matéria, é nesta matriz que a pressão sobre o espaço físico e as alterações no meio dar-se-ão de forma mais intensa. Se não planejado esse crescimento urbano, poderão ocorrer as mais diversas conseqüências negativas nesse ambiente.

Em 1992, a Earthscan Publications editou um livro chamado “Beyond the Limits: Global collapse or a sustainable future”. Seus autores eram os mesmos que escreveram o legendário “Limits to Growth” (que é considerado como aquele que inaugurou a Era Ambientalista) em 1972. Usando uma série de modelos computacionais, eles relatavam que o crescimento populacional, o crescimento industrial e a redução dos recursos estão levando a sociedade humana para além dos limites ecológicos (PALSUE, 2004).

Percebe-se que a partir da década de 60, intensificando-se mais no final de milênio, a discussão acerca da consciência ambiental tem sido retomada e ampliada, como uma forma de resgate do direito à qualidade de vida da sociedade em geral. Isso mudou a idéia de que a natureza e seus recursos naturais eram inesgotáveis (TAUK-TORNISIELO, *apud* FIGUEIRÓ, 2005).

Neste sentido Silva (2006, p.46) enfatiza que:

Desde a década de 60, as críticas ao desenfreado desenvolvimento capitalista emergiram e um marco na comunidade internacional foi a publicação do livro de Rachel Carson, “Primavera Silenciosa”, lançado em 1962. Neste livro ela enuncia o uso indiscriminado de pesticidas na agricultura americana e as conseqüências desastrosas para o meio ambiente. Hoje, é cada vez mais consensual que a natureza e seus recursos se encontram em alguns casos, no limite de sua sustentabilidade.

No entanto, é inevitável a comprovação de que a melhoria da qualidade ambiental nas áreas urbanas tem sido desproporcional ao aumento do interesse pelo assunto. Carentes de um conhecimento mais aprofundado da realidade concreta, e por vezes, pautando-se em uma matriz teórica extremamente frágil, as administrações municipais não tem conseguido responder às demandas estabelecidas pela sociedade no que se refere à melhoria da qualidade de vida e qualidade ambiental (FIGUEIRÓ, 2005).

Quando se trata do urbano, a complexidade do que se denomina problema ambiental exige tratamento especial e transdisciplinar. As cidades não são apenas espaços onde se evidenciam problemas sociais. O próprio ambiente construído desempenha papel preponderante na constituição do problema, que transcende ao meio físico e envolve questões culturais, econômicas e históricas (NEFUSSI e LICCO, 2007).

Para Van kamp *et al* (2003, p.396):

a identificação da qualidade ambiental urbana é uma estratégia que vem sendo adotada em vários países e que está presente em uma série de publicações científicas, mas que, no entanto, os pesquisadores ainda se questionam sobre quais fatores poderiam determinar a qualidade ambiental, se há um qualidade mínima que não deveria ser ultrapassada e quais os métodos e técnicas com os quais se poderia mapear, avaliar (e/ou prever) os efeitos de determinados usos da terra para a qualidade ambiental.

Neste sentido, é fato que se deve buscar um outro tipo de desenvolvimento, pois o paradigma de que o homem pensa na natureza simplesmente como matéria-prima para a acumulação do capital, que deve ser manipulado apenas de forma a contemplar as suas necessidades, esquecendo que ela é o habitat da espécie humana, precisa ser superado. A qualidade de vida do homem, para boa parte das pessoas, tem íntima relação ao grau de deterioração do ambiente natural onde se vive, e é por isso que se deve ter preocupação com o atual estágio ecológico das cidades.

A falta de preocupação com a intensa apropriação dos recursos naturais provocou problemas que, a partir da década de 1970, passaram a não ser mais tratados como locais, entendendo-se que a natureza não tem fronteira e que as

alterações dos seus recursos não obedecem aos limites dos locais atingidos pela degradação. Ao perceber estas questões, constata-se que a maior parte destas alterações ocorrem nas cidades. Portanto, é inegável que a questão ambiental está intimamente ligada à produção e à apropriação social do espaço (LIMA, 2005).

Dessa forma, pode-se dizer que estamos diante de um conflito nas cidades, conflito este que diverge entre ambiente e o tipo de desenvolvimento proposto pelo sistema vigente. Na grande maioria dos casos, e principalmente nas cidades do “terceiro mundo”, ou em “desenvolvimento”, os projetos de desenvolvimento urbano deixam de lado a busca pela sustentabilidade. Esse processo tem se caracterizado pelo esvaziamento das áreas centrais e deterioradas dos grandes centros urbanos e o crescimento intensivo das áreas periféricas, principalmente nos distritos e municípios localizados em áreas ambientalmente mais sensíveis, muitas vezes em proximidade a cursos d’ água e também áreas de encosta.

1.2 A poluição do ar em espaços urbanos

A poluição do ar tornou-se uma das principais preocupações em todo mundo, principalmente das grandes cidades industriais, onde as descargas de substâncias tóxicas aliado ao intenso tráfego de veículos emitem uma grande quantidade de poluentes para a atmosfera, tornando a qualidade do ar em zonas urbanas um elemento muitas vezes prejudicial à saúde de seus habitantes.

A poluição atmosférica não é um processo recente e de inteira responsabilidade do homem, tendo a própria natureza se encarregado, durante milhares de anos, de participar ativamente deste processo, com o lançamento de gases e materiais particulados originários de atividades vulcânicas e tempestades, dentre algumas fontes naturais de poluentes.

Contudo, a atividade antrópica intensificou de tal forma a poluição do ar com o lançamento contínuo de grandes quantidades de substâncias poluentes, que a qualidade do ar é tida como um problema ambiental dos mais significativos, tornando-se uma ameaça à saúde e ao bem-estar das pessoas e do meio ambiente em geral.

Até meados de 1980, a poluição atmosférica urbana era atribuída basicamente às emissões industriais, e as ações dos órgãos ambientais visavam ao controle das emissões dessas fontes. No Brasil, a exemplo do que ocorre com a

maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte das grandes instalações industriais como refinarias, pólos petroquímicos, centrais de geração de energia e siderúrgicas, responsáveis pelas emissões de poluentes para a atmosfera, estão concentradas em áreas urbanas. Ao longo do tempo, devido à obrigatoriedade do licenciamento ambiental, observou-se uma tendência à modernização das instalações industriais, com o objetivo de diminuir e controlar as emissões atmosféricas (FEEMA, 2007).

Da mesma forma, o rápido crescimento da frota veicular aumentou significativamente a contribuição dessa fonte na degradação da qualidade do ar, principalmente nas regiões metropolitanas do país. Os centros urbanos concentram as principais vias de tráfego e os maiores fluxos de veículos de uma região, onde ocorrem os grandes congestionamentos que contribuem ainda mais para o aumento da emissão de poluentes do ar. Segundo o Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, verificou-se que as fontes móveis são responsáveis por 77% do total de poluentes emitidos para a atmosfera, enquanto as fontes fixas contribuem com 22% (FEEMA, *op. Cit.*).

O desenvolvimento industrial e urbano tem originado em todo o mundo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo das concentrações atmosféricas destas substâncias, a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais é responsável por danos na saúde, redução da produção agrícola, danos nas florestas, degradação de construções e de uma forma geral origina desequilíbrios nos ecossistemas.

O rápido crescimento que se evidenciou nas cidades brasileiras principalmente após a década de 70, aliado a grande frota de veículos nas grandes cidades, comprometeu a qualidade do ar em diversos centros urbanos no país. Os impactos derivados do sistema urbano geram elementos nocivos sobre o sistema natural e construído. Os principais elementos impactantes são as emissões atmosféricas.

A contaminação e a poluição do ambiente podem ser percebidas nos níveis locais, regionais e globais, sendo que os efeitos da contaminação do solo, do ar e da água se espalham territorialmente, podendo ser sentidos em áreas vizinhas, que muitas vezes não abrigam as fontes de emissão. Esta condição tem sido muitas vezes, geradora de conflito entre municípios, estados e nações (CETESB, 2007).

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CETESB, *op. Cit.*).

Para Sewell (1978), como poluição do ar, pode-se entender a presença de materiais “estranhos” no ar, ou seja, tudo aquilo que pode ser vaporizado ou transformado em pequenas partículas, de modo a flutuar no ar, deve ser classificado como poluente potencial.

Quanto à origem, os poluentes do ar podem ser primários ou secundários. Os primários são aqueles poluentes emitidos diretamente das fontes para a atmosfera, e os secundários são os poluentes formados na atmosfera através de reações químicas, com outros poluentes ou elementos naturais, como radiação solar ou vapor de água.

A avaliação dos problemas de contaminação do ar teve início nas áreas próximas de fontes industriais, passando pela avaliação de emissões nos grandes centros urbanos, pelo transporte em regiões, até chegar à avaliação de contaminantes em escala global, como os efeitos da poluição sobre a camada de ozônio na estratosfera, atualmente relacionada às alterações climáticas do planeta (CETESB, *op. Cit.*).

Estas emissões de poluentes para a atmosfera podem ser produzidas por fontes fixas (setores comercial, de prestação de serviços e industrial) ou por fontes móveis (veículos automotores). No entanto, a questão da qualidade do ar não deve estar somente relacionada à quantidade de poluentes lançados pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age no sentido de concentrá-los ou dispersá-los. Sendo assim, é importante considerar que a atmosfera associada com as características da superfície urbana, como topografia natural e edificada, diferentes usos do solo e incidência e quantidade de áreas verdes, contribuem para a maximização ou minimização da poluição do ar (REZENDE, *et al* 2005).

A poluição do ar realmente passou a ser considerada um problema ligado à saúde pública a partir da Revolução Industrial, quando se passou a utilizar técnicas baseadas na queima de grandes quantidades de carvão, lenha e, posteriormente, óleo combustível (MISSIO, 2004).

Cidades inglesas como Sheffield (em 1600), Londres (em 1661), Newcastle (em 1725), Burslem e Pottiers (em 1750), e Oxford (no século XVIII) tinham seu ar tão comprometido com a fumaça produzida pelos fornos de carvão e emissões gasosas dos processos manufaturados, que algumas foram descritas como encobertas por “perpétuas nuvens de fumaça pairando sobre o ar”. O ar dessas cidades era composto por um coquetel de fuligem e dióxido de enxofre da queima de carvão, cloreto de hidrogênio produzido pelas indústrias de sabão, vidro. Neste sentido, até aproximadamente o final do século XIX, a principal fonte de poluição atmosférica nas cidades era a queima de carvão mineral, usada tanto nas residências quanto nas indústrias têxtil (MACCORMAC *apud* DANNI-OLIVEIRA, 1999,p.10).

Na atualidade, a situação da qualidade do ar nas cidades está longe de ser considerada boa. A queima dos combustíveis fósseis continua a ser a principal fonte de energia para atender as necessidades modernas, e têm criado problemas de poluição atmosférica de grandes conseqüências e repercussão perante a humanidade, como as chuvas ácidas e o aquecimento global da atmosfera. Contudo, com o uso da eletricidade, do gás natural e de derivados do petróleo, que passaram a ocupar o espaço do carvão mineral, diversas cidades de industrialização antiga passaram a libertar-se de uma atmosfera carregada de fumaça preta (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

Diante do quadro de crescimento urbano industrial do mundo, e o comprometimento do ar nas cidades, vários países tomaram consciência deste problema e estabeleceram critérios para controle da poluição.

A determinação sistemática da qualidade do ar deve limitar-se a um número restrito de contaminantes, definidos em função de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis. No Brasil o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão federal que dispõe sobre as normas de monitoramento e controle da poluição do ar. A legislação federal que regulamenta os padrões de qualidade do ar encontra-se na Resolução nº 3 de 28/06/90. Os indicadores da qualidade do ar são: Partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (PI), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio(NO₂).

De acordo com a resolução do CONAMA nº 03/90, são considerados padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, se ultrapassadas, poderão o afetar a saúde da população.

As fontes de poluição atmosférica são inúmeras e diversas são também as formas de impedir ou de aliviar a poluição. A legislação ambiental é rica em detalhes

que começam por dois grandes ramos: o controle das emissões e a qualidade do ar, ambos regulamentados pelo CONAMA.

Na busca de avaliar os limites de concentração que assegurem a saúde e o bem estar das pessoas, foram fixados dois padrões de qualidade do ar: os padrões primários, os quais se ultrapassados “poderão afetar à saúde da população, podendo ser entendidas como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos (Resolução do CONAMA n° 5/89). Há ainda, os padrões secundários, que correspondem “às concentrações de contaminantes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral”. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (CETESB, 2007).

Ainda, por meio da resolução n°5 do CONAMA, de 15 de junho de 1989, foi criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR – com o intuito de promover a orientação e controle da poluição atmosférica no país, envolvendo estratégias de cunho normativo, como o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte, a implementação da rede nacional de monitoramento do ar e o desenvolvimento de inventários de fontes e poluentes atmosféricos prioritários.

O incentivo à utilização de meios de transporte individuais característicos da sociedade moderna, em consonância com a difundida “era do petróleo”, só vieram a agravar a situação da qualidade do ar das áreas urbanas.

No Brasil, de acordo com Mattozo (2001), no capítulo Cidades Sustentáveis da Agenda 21, a taxa de motorização passou de 72 habitantes por automóvel em 1960 para pouco mais de 5 em 1998, podendo chegar essa relação a 4,3 no já ultrapassado ano de 2005, enquanto a quantidade média diária de viagens por habitante, segundo a projeção, deve subir de 1,5 registradas em 1995 para 1,7 viagens.

Os efeitos nocivos do crescimento automotivo têm aparecido continuamente em levantamentos de saúde. Uma estatística, divulgada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1999, apontou a poluição como responsável por um número maior de mortes do que o trânsito, em decorrência de problemas respiratórios ou cardíacos desencadeados pela exposição contínua ao ar poluído (MATOZZO, op. cit).

Ainda, de acordo com o autor (*op.cit*)

Os pesquisadores europeus, que avaliaram os efeitos da poluição do ar em três países (Áustria, Suíça e França), estimam que essa seja a causa de 40 mil mortes anuais, metade das quais ligadas diretamente à poluição produzida por veículos automotores. A poluição gerada (monóxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio, material particulado) pelo transporte também é apontada como a responsável por 25 mil novos casos anuais de bronquite crônica e mais de 500 mil ataques de asma. Esses dados confirmaram informações de pesquisas anteriores, realizadas no Reino Unido, que mostraram que a poluição abrevia a vida de 12 a 24 mil pessoas por ano e provoca outras 24 mil internações.

Os efeitos de um ar poluído sobre a saúde podem conduzir a doenças agudas e crônicas e até mesmo levar à morte, além de provocar danos ao crescimento infanto-juvenil, aos sistemas circulatório, respiratório e nervoso, e reduzir a expectativa de vida (DERISIO, 1992). Conforme dados dos alunos da faculdade de Medicina da USP, constatou-se, em 1997, que a concentração de poluentes atmosféricos em São Paulo, principalmente nos meses de inverno, pode aumentar em até 12% o risco de mortes por doenças respiratórias (MATTOZO, 2001).

Entre os poluentes clássicos, o material particulado vem sendo associado ao incremento de mortes totais em idosos e crianças, internações e mortes por doenças cardiovasculares e respiratórias (SALDIVA *et al* 1994 e 1995).

SALDIVA *apud* DANNI-OLIVEIRA(1999), relata que em pesquisa realizada na cidade de São Paulo, onde foram aplicados modelos de dose (resposta para configurar a correlação entre níveis de poluição, expressos pelas concentrações de material particulado, e risco de morte na faixa etária de idosos), ficou caracterizado que cerca de 10% das mortes de idosos na cidade decorrem da poluição do ar.

Em trabalho realizado por JACOBI (2000) que procurou obter a percepção dos moradores da cidade de São Paulo, quanto à questão dos principais problemas urbanos, pode-se evidenciar a diferença na preocupação dos moradores de diferentes localidades na cidade no que se refere aos problemas urbanos. Nos bairros centrais, em 33% das entrevistas a poluição do ar ficou em primeiro lugar no que tange a preocupação dos moradores, seguido pela poluição sonora (17%) e falta de áreas verdes (10%), dentre outros problemas.

Apesar de ser conhecido o efeito negativo da poluição do ar na saúde humana, é difícil e onerosa a conexão entre um certo poluente e uma doença. Esta

conexão pode ser verificada com base em dados sobre a poluição atmosférica e a incidência de alguma doença em uma certa região (PEITER e TOBAR, 1998).

Em relação às plantas, os poluentes prejudicam o processo químico. Danos na membrana celular, interferência no mecanismo de abertura e fechamento de estômatos e corrosão da cutícula das folhas e acículas são alguns dos efeitos dos poluentes químicos. Geralmente, os poluentes do ar que causam danos às plantas são gasosos, como os óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, hidrocarbonetos e substâncias foto-oxidantes. O efeito é direto ou indireto sobre as plantas e depende de sua concentração e período de exposição (AMBIENTE BRASIL, 2007). Na FIGURA 3 pode-se averiguar alguns dos principais poluentes na atmosfera e seus efeitos sobre a saúde e ambiente

EFEITOS DOS PRINCIPAIS POLUENTES NA ATMOSFERA		
Poluente	Efeitos sobre a Saúde	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Causam efeitos significativos em pessoas com doenças pulmonares, como asma e bronquite.	Danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis (PM10)	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras. Insuficiências respiratórias pela deposição deste poluente nos pulmões.	Danos a vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ . Irritação ocular.	Pode levar a formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação.
Óxidos de Nitrogênio (NO_x)	Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos a vegetação.
Monóxido de Carbono (CO)	Causa efeito danoso no sistema nervoso central, com perda de consciência e visão. Exposições mais curtas podem também provocar dores de cabeça e tonturas.	

Ozônio (O3)	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O3 tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais. Pode danificar materiais devido ao seu alto poder oxidante
--------------------	---	--

FIGURA 3 – Quadro com os efeitos dos principais poluentes na atmosfera.
Fonte: Ambiente Brasil, 2007.

Estudos mostram que os problemas de poluição do ar no Brasil, são causados, em grande parte, pelas emissões provenientes dos meios de transportes (60% por veículos automotores), que podem causar problemas respiratórios, cardiovasculares, irritação dos olhos e infecções (GERAQUE, 2006).

À exceção das cidades que são predominantemente industriais, as demais têm nos veículos sua maior fonte poluidora do ar. Na região metropolitana de São Paulo, por exemplo, a participação dos veículos por tipo de contaminante sobrepujou as emissões industriais da região em todos os agentes poluidores analisados (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

Dos gases emitidos pelos veículos automotores, 99,9% são inofensivos, mas 1% é altamente ofensivo ao homem e ao meio ambiente. Considerando o aumento de veículos nas cidades (em 2000 o número de veículos foi de 500.000.000 no mundo), este 1% é extremamente significativo (AMBIENTE BRASIL, 2007).

1.2.1 Poluição do ar por material particulado

Sob a denominação geral de Material Particulado encontra-se um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros (CETESB, 2007).

Conforme Matozzo (2001), o termo "material particulado" (MP) designa tanto partículas sólidas como gotículas dispersas no ar. Algumas das fontes naturais ou antropogênicas (geradas pela ação humana) emitem material particulado diretamente ou geram outros poluentes que reagem na atmosfera formando material

particulado. Existe uma grande quantidade dessas partículas sólidas ou líquidas em tamanhos e espessuras variadas. Partículas menores do que 10 micrometros de diâmetro tem um impacto maior sobre a saúde humana porque elas podem ser inaladas e acumuladas no sistema respiratório. Partículas menores do que 2.5 micrometros são designadas como "partículas finas".

Uma das características mais importantes do material particulado refere-se ao seu tamanho, já que o alojamento dos mesmos no aparelho respiratório humano, bem como seu tempo de permanência no ar, dependem dessa característica. Além disso, as partículas de menor tamanho contêm maior proporção de componentes químicos potencialmente danosos a saúde, como ácidos e metais pesados (BROOK; DANN; BURNET, *apud* DANNI-OLIVEIRA, 1999).

Os poluentes atmosféricos conhecidos como "material particulado (MP)" não constituem uma espécie química definida, e sim um conjunto de partículas no estado sólido ou líquido com diâmetro menor que 100 micrometros que incluem pós, poeiras, fumaças e aerossóis emitidos para a atmosfera de diversas maneiras (TORRES; MARTINS, 2005).

O material particulado tem como origem fontes naturais e fontes artificiais. Dentre as fontes naturais podemos citar as poeiras espalhadas pelo vento. Como fontes artificiais têm-se os motores de veículos, as caldeiras industriais ou a fumaça do cigarro.

Ainda de acordo com a CETESB (2007), o material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores as partículas maiores os efeitos provocados. O material particulado pode também reduzir a visibilidade na atmosfera. Conforme a CETESB (2007), o material particulado pode ser classificado como:

Partículas Totais em Suspensão (PTS): Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 µm. Uma parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas

condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.

Partículas inaláveis (PM10): De maneira geral são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm . As partículas inaláveis podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas (menores que 2,5 μm) e partículas inaláveis grossas (2,5 até 10 μm). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório (nariz por exemplo).

Fumaça (FMC): Está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. A fuligem que é um conjunto de partículas sólidas e líquidas, sob a denominação geral de material particulado (MP), devido ao seu pequeno tamanho, mantém-se suspensa na atmosfera e pode penetrar nas defesas do organismo, atingindo os alvéolos pulmonares e ocasionar: mal estar, irritação dos olhos, garganta, pele, dor de cabeça, enjôo, bronquite, câncer de pulmão, etc.

Para Matozzo (2001) tanto as partículas finas como as mais espessas podem se acumular no sistema respiratório. De maneira geral, as partículas mais espessas (grossas) podem agravar problemas respiratórios como a asma. A exposição às partículas mais finas estão associadas com efeitos mais graves para a saúde, como a morte prematura. Os efeitos adversos podem ser associados tanto a períodos curto de exposição (um dia) como períodos longos (um ano ou mais).

Quando expostas à poluição por material particulado, as pessoas que sofrem de doenças pulmonares ou cardíacas (asma, obstrução crônica dos pulmões, ou isquemia cardíaca) têm aumentado o risco potencial de internação de emergência e de morte prematura. Os idosos representam o grupo de maior risco de agravo a saúde. As crianças e as pessoas com problemas pulmonares podem sofrer dificuldades para respirar normalmente e outros sintomas como tosse e respiração curta (MATOZZO, 2001).

A poluição por material particulado pode aumentar a suscetibilidade para infecções respiratórias e pode agravar o quadro de doenças já existentes como asma e bronquite crônica, provocando maior consumo de medicamentos e maior número de internações hospitalares.

Até 1989, a legislação brasileira preocupava-se apenas com as “Partículas Totais em Suspensão”, ou seja, com todos os tipos e tamanhos de partículas que se

mantêm suspensas no ar, grosso modo, partículas menores que 100 microns (um micron é a milésima parte do milímetro). No entanto, pesquisas recentes mostram que aquelas mais finas, em geral as menores que 10 microns, penetram mais profundamente no aparelho respiratório e são as que apresentam efetivamente mais riscos à saúde. Dessa forma, a legislação brasileira passou também a se preocupar com as “Partículas Inaláveis”, a partir de 1990 (TORRES; MARTINS, 2005).

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada. Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 03/90. Na figura 4 que segue abaixo, pode-se verificar o quadro com alguns dos riscos que o material particulado pode trazer a saúde humana.

Valores de indicadores	Condições para a saúde humana	Medidas de preservação	
		Mp 2,5	Mp 10
0 – 50	Boa	Nenhuma	Nenhuma
51 - 100***	Razoável	Nenhuma	Nenhuma
101 - 150	Insalubre para determinados grupos	Pessoas com doenças respiratória ou cardíacas, idosos e crianças devem restringir o esforço físico ao ar livre.	Pessoas com problemas respiratórios, como asma, devem restringir o esforço físico ao ar livre.
151 - 200	Insalubre	Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças devem evitar esforço físico prolongado ao ar livre.	Pessoas com problemas respiratórios, como asma, devem evitar atividades ao ar livre; qualquer pessoa, em particular os idosos e as crianças, devem restringir atividades ao ar livre.

*** Um indicador 100 para MP_{2,5} equivale a um nível de MP_{2,5} de 40 microgramas por metro cúbico (média em 24 horas de medição). Já um indicador 100 para MP₁₀ equivale a um nível de MP₁₀ de 150 microgramas por metro cúbico (média em 24 horas de medição).

201 - 300	Muito Insalubre	Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, os idosos e as crianças devem evitar qualquer atividade ao ar livre; qualquer pessoa deve evitar esforço físico prolongado ao ar livre.	Pessoas com doenças respiratórias, como asma, devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; todas as pessoas, especialmente as crianças e os idosos, devem limitar a atividade física ao ar livre.
301 - 500	Perigosa	Todas as pessoas devem evitar atividade ao ar livre; pessoas com doença respiratória ou cardíaca, idosos e crianças devem permanecer dentro de casa ou em local protegido.	Todas as pessoas devem evitar atividade ao ar livre; pessoas com doença respiratória, como asma, devem permanecer dentro de casa ou em local protegido.

FIGURA 4 - Quadro dos riscos a saúde devido à exposição ao material particulado inalável.
Fonte: Matozzo, 2001.

Ainda, de acordo com a resolução do CONAMA de 1990, ficam estabelecidos os parâmetros diários e anual de qualidade do ar para partículas inaláveis. Os valores toleráveis para as partículas inaláveis são de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas e 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como média aritmética anual.

O material particulado, além de ser prejudicial por si só, é um agente potencializador de danos ao aparelho respiratório, na medida em que se pode ter a ele incorporado outros poluentes como sulfatos, nitratos, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos, sendo já atestada a correlação entre problemas de bronquite e asma com concentrações de sulfato e nitratos em partículas respiráveis (WANNER, *apud* DANNI-OLIVEIRA, 1999).

Partículas minúsculas como as emitidas pelos veículos, principalmente os movidos a diesel, podem ser menores do que a espessura de um fio de cabelo, sendo assim, não são retidas pelas defesas do organismo, tais como, pelos de nariz, mucosas etc. Causam irritação nos olhos e garganta, reduzindo a resistência às infecções e ainda provocando doenças crônicas. O mais grave é que essas partículas finas, como as de fumaça de cigarro, quando respiradas, atingem as partes mais profundas dos pulmões, transportando para o interior do sistema respiratório substâncias tóxicas e cancerígenas. As partículas causam ainda danos à estrutura e à fachada de edifícios, à vegetação e são também responsáveis pela redução da visibilidade (TORRES; MARTINS, 2005).

De acordo com Sewell (1978, p.165):

Sabe-se que os maiores problemas de saúde causados pela poluição do ar não se acham associados com episódios identificáveis, mas com a erosão gradativa da saúde, por exposições freqüentes e de longo prazo. As hipóteses que ligam esse tipo de exposição com doenças específicas requerem suposições e estimativas obscuras que facilmente são reduzidas a frangalhos pelos opositores.

Neste sentido ainda, e concluindo a respeito do desgaste da saúde, Sewell (*op cit*, p. 167) afirma:

A maioria das vítimas da poluição do ar não morre durante um episódio desses. Elas contraem uma doença respiratória ou outro sintoma associado com a poluição do ar, enfraquecem gradativamente, para depois morrer tipicamente de pneumonia, ataque do coração ou falha de algum outro órgão vital. Ou geram crianças com defeito congênito que a pesquisa médica posterior relacionará com algum poluente de ar. Ou talvez desenvolvam uma doença, como câncer, causada por um conjunto mal compreendido de fatores, com a poluição do ar apenas como um componente possível.

Segundo Marques (2005) um artigo publicado na Folha de São Paulo, em 19/08/99, intitulado “Pesquisa mede o custo da poluição”, informa que o SUS (Sistema Único de Saúde) gastou mais de 2 milhões de reais, no período de três anos, somente na cidade de São Paulo, em virtude da poluição atmosférica.

A presença de material particulado na atmosfera urbana diminui a radiação solar, aumenta a concentração de núcleos de condensação, que intensificam as precipitações, provoca o “smog” fotoquímico, que reduz a visibilidade, além de provocar sujeira nas superfícies de casas e edifícios, móveis e objetos e, muitas vezes, sua corrosão (TORRES; MARTINS, 2005).

Em estudo realizado por Mage *et al* (*apud* DANNI-OLIVEIRA,1999), analisando a qualidade do ar em vinte cidades em termos de SO₂, MP, Pb, CO, NO₂ e O₃, constatou-se que em todos os poluentes o material particulado é o contaminante que promove o maior comprometimento do ar. Em doze delas (Bankok, Pequim, Buenos Aires, Cairo, Calcutá, Jakarta, Karachir, Los Angeles, Manila, México, Seul e Shangai) os índices de concentração de MP ultrapassaram frequentemente os definidos como limites toleráveis pela OMS em um fator de 2 a 3 vezes.

Uma pesquisa realizada em 20 megacidades demonstra que o material particulado em suspensão é a forma de poluição que mais se demonstrou intensa e nociva, seguido do dióxido sulfúrico e do ozônio (VORODON, 2003). Os níveis de material particulado em algumas grandes cidades pode ser visualizados na FIGURA 5.

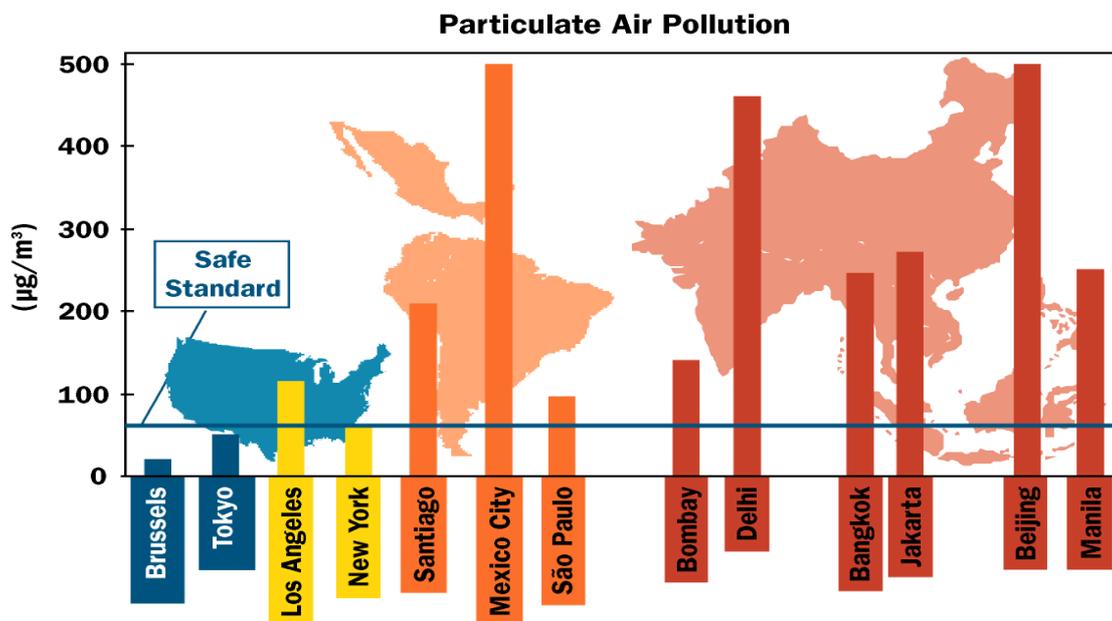


FIGURA 5 - Nível de material particulado em treze megacidades do planeta, em comparação com o padrão primário (80µg/cm³) de segurança estabelecido.

Do ponto de vista da saúde humana, material particulado e ozônio são os dois mais importantes poluentes do ar, sendo que hoje em dia são esses poluentes que possuem o seu padrão de concentração o maior número de vezes violado. Um exemplo disso é a Cidade do México, onde a quantidade aceita de MP10 tem sido excedida em mais de 40% dos dias do ano (VORODON, 2003). Ainda de acordo com este autor (*op. Cit.*, p.151), “estudos para a região metropolitana da Cidade do México sugerem que uma redução de 10% nas concentrações de MP10 pode reduzir o número de mortes prematuras em aproximadamente 1000 casos por ano”.

Em pesquisa realizada no ano de 1994 pela FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente/RJ) na região metropolitana do Rio de Janeiro, considerando os contaminantes MP, NO₂ e SO₂, indicaram que somente as concentrações de MP violaram os índices limites racionalmente estabelecidos, considerando-se as violações do padrão primário (80µg/m³). As principais fontes causadoras desses níveis de poluição foram, durante a primavera, o arraste de solo

pelo vento, e para as demais estações, as emissões veiculares e industriais (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

1.3 A importância da vegetação em ambientes urbanos

Desde a antigüidade, antes mesmo da hegemonia do sistema capitalista, a história do homem é uma ruptura progressiva com o seu entorno. Esse processo se acelera quando, praticamente ao mesmo tempo, o homem inicia a partir do uso de instrumentos criados por ele, a mecanização do espaço terrestre, para utilizar de seus recursos em benefício próprio. A natureza artificializada marca uma grande mudança na história da natureza (SANTOS, 1992).

Paulatinamente, o ser humano passa a entender a necessidade de preservação da natureza, e nesse sentido, o retorno da vegetação para dentro dos limites antes destinados às construções e vias de acesso, torna-se uma questão fundamental e altamente valorizada. Nesse momento, as áreas verdes públicas passaram a ser introduzidas nas cidades e, após a Revolução Industrial (séculos XVIII e XIX), com o crescimento acelerado e desordenado das cidades e com a retirada progressiva da vegetação natural, gerando regiões infectas e insalubres, surgem os primeiros parques públicos, com o objetivo de resolver diversos problemas. Os primeiros defensores das áreas verdes públicas foram os médicos sanitaristas, argumentando que as cidades precisavam oferecer condições para circulação e renovação do ar (TRINDADE, 2004).

O impacto do homem sobre o meio ambiente ocorre em grande intensidade, e a substituição da vegetação preexistente pelo concreto é que acarreta esta devastação natural. A cobertura vegetal assume grande importância influenciando no bem estar das pessoas que habitam as cidades, embora observe-se a preocupação do poder público para com o meio ambiente urbano ainda é deixada em segundo plano (ROCHA, 2006).

Segundo Mascaró (1996, p.67):

(...) as árvores fornecem sombra, talvez seja o efeito mais procurado, mas além de proteger o recinto urbano da insolação indesejada, reduzindo a absorção de energia ao longo do período quente da região subtropical, matiza suas superfícies planas, criando um efeito de filtragem dinâmica.

Ultimamente tem se dado grande valorização no que diz respeito às funções ecológicas no meio urbano, principalmente em relação à regulação climática. Estas acabam por atingir a esfera econômica da cidade.

Para Rosenfeld (1996 *apud* OLIVEIRA, 2001, p. 16):

O benefício direto do plantio de 11 milhões de árvores em Los Angeles (EUA) deverá resultar numa redução anual de 50 milhões nas tarifas de energia. Estes valores equivalem a uma economia de U\$\$ 4,55 por árvore. Para Sacramento (EUA) estimou-se uma economia de 12% da energia gasta em condicionamento de ar, em função da refrigeração e sombreamento promovidos pelas árvores.

Costuma-se excluir a arborização ao longo das vias públicas como integrante da sua área verde, já que as áreas verdes são destinadas principalmente à recreação e ao lazer, e essa tem finalidade estética, de ornamentação e sombreamento (Silva, 1997). Isto se deve também ao fato de que a legislação de uso e parcelamento do solo (Lei 6.766/79) obriga os loteamentos apenas a destinar uma área verde para praças, não se referindo a arborização nas ruas. Sob o ponto de vista ambiental, pode-se concluir que as árvores existentes ao longo de vias públicas não perdem em importância. Segundo Franco (2001, p.132):

Como a melhora de uma condição ambiental é um conceito que envolve aspectos socioculturais complexos e cuja mudança vai naturalmente implicar em conseqüências que envolverão toda uma comunidade, ela é antes de tudo uma decisão política.

O plantio e a manutenção da arborização urbana são deveres do poder público e imprescindíveis à qualidade de vida da população, nos termos do Estatuto da Cidade (Lei 10257/01).

Para Baker *et al* (2003 *apud* Filho, 2005, p.2):

Uma das soluções para amenizar os problemas causados pela excessiva impermeabilização do solo por materiais que elevam a amplitude térmica das cidades é tratar o meio urbano com vegetação, em especial seu componente arbóreo, por meio da arborização de vias públicas, praças, áreas de preservação, como margens de cursos d'água e áreas íngremes.

Dentre as mais variadas funções exercidas pela arborização urbana, outra de suas principais contribuições é atuar no controle de elementos que contribuem na poluição sonora.

Segundo Forman (1986 *apud* Oliveira, 2001, p. 26):

A atenuação sonora é mais efetiva para sons de alta frequência (agudos). As plantas perinifólias tendem a refletir mais som, enquanto as decíduas são mais eficientes na absorção, sugerindo-se que a mistura de várias espécies seja uma estratégia especialmente efetiva na redução de sons de frequência intermediária.

Embora a temperatura à sombra seja poucos graus inferiores a temperatura quando se está exposto ao sol, devido ao aquecimento do ar ser transmitido pelo solo, as pessoas sentem maior conforto por não haver insolação direta sob o corpo.

Uma árvore isolada pode transpirar em média 400 litros de água por dia, resultando em um significativo aumento do resfriamento do ambiente, equivalentes a cinco condicionadores de ar, funcionando 20 horas por dia. Ainda, por meio da transpiração, as árvores contribuem para o aumento da umidade relativa do ar (ELETROPAULO, 2005).

A influência da vegetação na temperatura do ar está relacionada ao controle da radiação solar, do vento e da umidade do ar. Sob agrupamentos arbóreos, à sombra, a temperatura do ar é de 3°C a 4°C menor que nas áreas expostas a radiação solar. Essa relação aumenta com a redução do deslocamento do ar entre as áreas sombreadas e ensolaradas, e com o aumento do porte da vegetação (MASCARÓ, 1996).

Outro fator de interferência da arborização urbana no microclima das cidades é verificado perante a umidade do ar. Para Mascaró (1996 p.36):

A vegetação não somente intercepta a radiação solar e modifica as características do vento, mas também reduz a incidência da precipitação sobre o solo e altera a concentração da umidade na atmosfera e nas superfícies adjacentes. A umidade dos ambientes com vegetação está relacionada a evapotranspiração. O efeito depende do albedo, morfologia, rugosidade e resistência articular da superfície foliar. A umidade relativa do ar sob a vegetação é maior que nos espaços sem ela, entre 3% e 10%, verificando-se as maiores diferenças no verão, pois este efeito é proporcional à densidade foliar da vegetação. Os valores menores registram-se na primavera devido à ação dos ventos e à existência de vazios na copa (períodos de floração).

No que se refere da influência da arborização na saúde das pessoas, verifica-se que esta pode agir de diversas formas, principalmente como atenuante das fumaças despejadas nas cidades, principalmente emitidas por carros, como também por indústrias, fazendo com que essas se dispersem antes de atingir o organismo humano.

Os benefícios econômicos referentes a internações hospitalares também podem estar associados à arborização urbana. É relatado que em pacientes que permaneceram hospitalizados em quartos voltados para vegetação externa, tem recuperação mais rápida e necessitam de menos drogas (KIELBASO, *apud* OLIVEIRA, 2001).

Segundo Bianchi (1992 *apud* ANDRADE, 2002), a arborização contribui também para atenuar a poluição visual, pois as árvores são componentes que conferem formas aos ambientes urbanos, caracterizando paisagens e orientando visualmente.

1.3.1 Relação entre vegetação e qualidade do ar

Nas cidades, a poluição do ar torna-se um problema quando a geração de contaminantes supera a capacidade dos processos naturais de removê-los ou amenizá-los. É a principal preocupação ambiental na maioria das principais cidades do mundo. Um importante foco de pesquisa tem sido o papel da vegetação urbana na formação e amenização dos poluentes do ar nas cidades (NOWAK *et al*, 2006).

Devido ao grande papel exercido pelas árvores na redução dos poluentes do ar, o senado romano reconheceu o valor dos pomares em vilas que cercam a cidade de Roma por influenciar na melhoria da qualidade do ar, e proibiu a conversão para assentamento urbano (YANG, 2005)

A vegetação urbana tem importante papel na remoção de partículas e gases poluentes da atmosfera (SMITH;DOCHINGA; *apud* MASCARÓ, 2005), sendo variável a capacidade de retenção ou tolerância a poluentes entre as espécies e mesmo entre os indivíduos da mesma espécie. Quatro processos diferentes de amenização da poluição gasosa pelas plantas podem ser considerados: filtragem ou absorção, oxigenação, diluição e oxidação (GREY; DENEKE *apud* MASCARÓ, 2005).

As folhas das árvores podem absorver gases poluentes originados pela queima incompleta que os automóveis fazem de seus combustíveis e prender partículas sob sua superfície. Segundo Nowak (1999 *apud* YANG, 2005, p.66):

(...) árvores podem reduzir os poluentes aéreos de duas formas: (1) por redução direta do ar, e (2) pela redução indireta evitando a emissão de poluentes no ar. Na redução direta, árvores absorvem gases poluentes como dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), e ozônio (O₃), através dos estômatos das folhas e também podem dissolver materiais solúveis em água sobre a superfície das folhas úmidas.

Para Felemberg (1980), os habitantes de áreas urbanas devem dispor de áreas verdes suficientes que possam purificar periodicamente suas vias respiratórias. No ar puro destas áreas verdes, os epitélios cilicados das vias respiratórias podem remover dos pulmões as partículas de pó e fuligem.

Para Lamberti (*apud* RESENDE *et al* 2005, p.1203):

[...] quanto à questão atrelada a dispersão dos poluentes encontrados na atmosfera, os estudos destacam que as áreas onde são encontrados florestas, são mais eficazes para a despoluição do ar, considerando-se que um hectare de gramado fixa em média uma tonelada de carbono.

Os efeitos da vegetação sobre as poeiras podem ser considerados sob dois aspectos : o efeito aerodinâmico, dependente de modificações na velocidade do vento provocados pela vegetação e o efeito da captação que varia para cada tipo de espécie vegetal . Esse efeito de filtro para partículas sólidas depende de propriedades físicas, químicas e fisiológicas. Espécies que absorvem muita água do solo possuem folhas bastante úmidas que captam partículas por umidade ou carga elétrica (MASCARÓ, 2005).

As árvores podem reduzir a temperatura do ar através da matização direta e evapotranspiração no verão, reduzindo a temperatura do ar que pode baixar a atividade das reações químicas que produzem poluentes do ar “secundários” em áreas urbanas (YANG, 2005).

Em estudo realizado na costa oeste dos Estados Unidos, os efeitos físicos das árvores urbanas foram mais importantes que os efeitos químicos em termos de afetar as concentrações de ozônio (NOWAK, 2006)

Estudo realizado no ano de 1994 em várias cidades importantes dos Estados Unidos demonstrou que o valor removido de poluição varia para cada cidade baseado na quantidade de cobertura vegetal (aumento na cobertura vegetal conduz a um aumento no total removido). Demonstra ainda, que os maiores índices de poluição removida acontecem na estação do ano em que as árvores contam com presença de folhas (NOWAK, *op. Cit.*).

A implementação de áreas verdes em ambientes urbanos é uma fonte de atenuação de diversas formas de desequilíbrio ambiental em nossas cidades, influenciando diretamente na melhora da qualidade do ar, tão discutida e preocupante nessas últimas décadas.

De acordo com Nucci (1998 *apud* BARBOSA, 2005) “... dentro da linha metodológica do planejamento da paisagem, quando se fala em planejar com a natureza, está se falando principalmente da vegetação. É a partir dela que muitos problemas são amenizados ou resolvidos”.

De acordo com Satller (1992 *apud* OLIVEIRA, 2001) uma barreira formada por 30 metros de vegetação é capaz de interceptar totalmente o material particulado e diminuir os poluentes gasosos entre uma área industrial e outra residencial.

Para Troppmair (1976, p.70):

(...) é sabido que as áreas verdes, principalmente as formadas por espécies arbóreas latifoliadas decíduas e semidecíduas contribuem de maneira positiva para a despoluição da atmosfera, principalmente no que se refere ao material particulado.

É importante que se observe em estudos de quantificação da redução de poluentes no ar pela arborização urbana, que estes variam sua concentração espacialmente e temporalmente, e as condições das árvores são altamente variáveis dentro de uma mesma cidade (YANG, 2005).

Em estudo realizado na cidade de Pequim, no ano de 2002, onde se procurava saber qual o poluente que predominava nos ares da cidade, descobriu-se que o material particulado foi o de maior representatividade, chegando a 61% do total, ou 772 toneladas para a área urbana da cidade. Foi observado, também, que a maior captação de partículas ocorre no fim da primavera, devido ao maior tamanho das folhas e conseqüentemente maior superfície para deposição de partículas. Também a chuva e o vento diminuem a concentração de MP que ocorre na

primavera. A remoção mais baixa ocorreu no inverno porque a maioria das espécies em Pekim são decíduas (76%). Embora a concentração de MP seja mais alta no inverno devido à queima do carvão para o aquecimento, a perda das folhas reduz a capacidade das árvores de interceptar este poluente (YANG, *op. Cit.*).

1.4 O estado da arte acerca do estudo do verde urbano de Santa Maria

Poucos trabalhos e pesquisas foram realizados sobre a vegetação urbana de Santa Maria, principalmente àqueles ligados à função que esta vegetação está exercendo no ambiente urbano da cidade, e conseqüentemente na qualidade de vida da população.

Uma coletânea de textos de diversos autores que passaram pela cidade de Santa Maria em diversos espaços de tempo foi publicada por Marchiori; Noal (1997), tendo alguns descrito a paisagem à época da sua passagem. Essa obra é rica em fotografias antigas, o que nos remete também a visualizar a paisagem urbana mais antiga de Santa Maria.

De acordo com os autores (*op. Cit.*, MARCHIORI 1997, p. 25), o primeiro naturalista a pisar em Santa Maria foi Saint Hilaire, um renomado botânico francês, que descreveu a paisagem local: "... de um lado avistava-se alegre planície, cheia de pastagens e bosquetes, e do outro a vista é limitada por montanhas cobertas de espessas e sombrias florestas".

Sobre João Borges Fortes, historiador, genealogista e sociólogo, tendo datado seus escritos sobre a paisagem da cidade em 1904, pode-se destacar a falta de arborização já existente nesta época, pois segundo as palavras do autor (*apud* MARCHIORI, 1997, p.86):

As principais ruas da cidade de Santa Maria são ruas calçadas, regularmente edificadas e bem cuidadas. Todavia as praças não são como seria para desejar. Ressentem-se da falta de arborização e ajardinamento, o que seria para a população um refrigerio na estação calmosa, além de constituir-se num ponto de convergência e distrações.

Esse fato pode ser evidenciado na FIGURA 6 que demonstra a escassa arborização no centro da cidade de Santa Maria no início do século passado. Ainda, sobre a arborização da cidade (FIGURAS 7 e 8) verifica-se que grande parte da

vegetação que cobria grande área no bairro Centro desapareceu por ocasião do grande adensamento urbano que verifica-se no centro da cidade.



FIGURA 6: Foto da escassa arborização da praça central (atual Saldanha Marinho) da cidade de Santa Maria no ano de 1905.
Fonte: Marchiori (1997).

Destaca-se também, no que remete a arborização, quando realizada a comparação, que pouco mudou, uma vez que as ruas que contavam com arborização na década xx são as mesmas dos dias atuais, fato este que evidencia que as manchas maiores das copas das árvores na foto antiga, pertencem a arborização de pátios internos e terrenos baldios, não sendo de acompanhamento viário.

Nos relatos de Hemetério Veloso da Silveira, juiz de direito de várias comarcas do RS, escritos a partir de suas observações no ano de 1909, é possível identificar a intenção do autor em enumerar as praças da cidade, que eram num total de seis, destacando a preocupação em distinguir as arborizadas e ajardinadas, que eram apenas duas.

Natural de São Borja, Catão Coelho, funcionário público, político, jornalista e escritor, comenta sobre a vegetação em sua descrição acerca dos antecedentes da fundação da cidade de Santa Maria, dando grande importância à fitogeografia da cidade no período inicial do século XIX. Ressalta em suas palavras (*apud* MARCHIORI, 1997, p. 164):

[...] vale bem o tempo em busca da verdadeira origem, quem se der ao trabalho de perscrutar o passado florestal da localidade, não poderá duvidar um só momento da existência passada de uma frondosa floresta onde hoje assenta a cidade de Santa Maria. Não há cinquenta anos ainda, em que se viam cernes de ipês completamente petrificados em terrenos e em capoeiras, onde hoje á a Avenida Rio Branco.



FIGURA 7 – Vista parcial da arborização do bairro Centro de Santa Maria no ano de 1935 (na foto como principal eixo viário a Avenida Rio Branco).
Fonte: MARCHIORI, J.N. *et al* (2008).

No que concerne ainda à paisagem fitogeográfica passada da cidade, Catão Coelho destaca (*op. cit*):

Ainda mesmo dentro da cidade, da rua André Marques para o nordeste, veêm-se alguns exemplares vivos de ipê petrificados, atestando o passado. Segue-se que a localidade era coberta de matos de grande saliência. Vê-se que ao norte das citadas serras e delas ao Passo, hoje de Olaria, estava a floresta, que baixava da Serra, floresta, talvez com pequenas clareiras em seu centro.



FIGURA 8 – Vista parcial da arborização do bairro Centro de Santa Maria no ano de 2008 (na foto como principal eixo viário a Avenida Rio Branco).
Fonte: Fonte: MARCHIORI, J.N. *et al* (2008).

Comentando ainda sobre o início da devastação antrópica na então Santa Maria da Boca do Monte, Catão Coelho (*op. cit*) nos diz:

dados que remontam a 1805, transitavam os índios pelo trilho que da Boca do Monte conduziam a São Martinho, mesmo antes de 1756; é provável que, então, tivesse sido escolhido o primeiro local para a permanência de uma guarda portuguesa em um ponto mais próximo à raia limítrofe entre os territórios das duas coroas (Portugal e Espanha), porém que, sujeita a agressões dos índios e espanhóis, que se viam obrigados a abandonar esse ponto e procurassem à sombra da floresta, um mais conveniente e defensável, e que aos poucos fossem desmatando...

Outros trabalhos mais recentes se dedicaram a estudos mais localizados envolvendo a arborização urbana de Santa Maria. Dentre estes trabalhos podemos citar os realizados pela prefeitura, que refere-se a um levantamento de espécies arbóreas plantadas no perímetro urbano da cidade, publicado em CD Room, intitulado “Verde Urbano de Santa Maria”. Este trabalho teve como finalidade realizar um levantamento das espécies arbóreas imunes ao corte, e também mostrar a arborização das principais ruas, avenidas, praças e parques. Outro trabalho, realizado em parceria entre a UFSM e a Secretaria de Proteção Ambiental, de título desconhecido, teve como objetivo quantificar as espécies de maior ocorrência nas principais ruas e avenidas da cidade.

Este trabalho teve caráter técnico, procurando levantar o número e tipo de espécie por ruas e avenidas. Teve como resultado final um total de 1584 árvores contabilizadas, e uma distribuição na região central da cidade com predominância de apenas cinco espécies na arborização, sendo elas: Ligustro (*Ligustrum Japonicum*) com 25% de frequência, seguido da Extremosa (*Lagerstroemia*) com 16%, Ipê-Amarelo (*Tabebuia Chrysotricha*) com 9,5%, Tipuana (*Tipuana Tipu*) com 6,5%, e por fim, o Cinamomo (*Melina Ajedarach*) com 6% do total de espécies.

É demonstrado ainda nesse levantamento, a quantidade de árvores frutíferas, tendo estas papel importante em relação à presença de pássaros na área urbana. Chegou-se ao resultado de 10,2% de espécies arbóreas frutíferas de interesse humano e faunístico, e apenas 3,0% para interesse exclusivamente faunístico. Foi ainda calculada a densidade de arborização, entendida como sendo o número de árvores distribuídas em um determinado espaço físico.

A principal crítica que se faz a este trabalho é no sentido da sua não delimitação espacial, não tomando como referência algum bairro, mas sim apenas algumas ruas e avenidas de três bairros da cidade, fazendo com que a espacialização do resultado não esteja precisa, dificultando a tomada de alguma futura ação. Além disso, por se tratar de um diagnóstico realizado pela Secretaria Municipal de Proteção Ambiental, este trabalho deveria discutir os problemas que podem estar sendo ocasionados pela distribuição atual das espécies que se encontram nos locais estudados. E, ainda, por ser um trabalho essencialmente técnico deveria também prever propostas de ação para a correção dos problemas evidenciados e idéias para uma nova arborização das ruas.

Outro aspecto no estudo da vegetação pode ser encontrado no trabalho de LANA et al (1999). Utilizando-se de fotografias aéreas do ano de 1992, os autores buscuram verificar se a quantidade de área verde existente no bairro Centro de Santa Maria é condizente com o sugerido pela ONU (12m²/habitante). Além disso, pretendia-se fazer estimativas do fluxo de transporte urbano, uma vez que este está relacionado à produção de poluentes e a degradação da cobertura arbórea. Os autores encontraram um total de 391.600 m² de área verde para o bairro Centro, bairro este que quando da realização do estudo possuía uma área total de 2.991.600 m², chegando-se ao índice de 13% de área verde para o bairro Centro de Santa Maria. Hoje o tamanho do bairro diminui devido a nova delimitação realizada no ano de 2006.

Na relação feita entre a área verde e a queima de combustíveis fósseis, uma vez que o fluxo de transportes reflete diretamente na qualidade do ar, obteve-se o resultado de 10.077 litros de óleo diesel por dia utilizados pelas empresas de transporte coletivo, que percorrem aproximadamente 34.249 km em toda área urbana da cidade, o que remete ao número de 1994,8 litros para percorrer os 6.780 km do bairro Centro. Tomando-se por base os dados de poluição (retirados da bibliografia) referentes à queima de 1000 litros de óleo diesel, foi calculado a quantidade de poluentes emitidos no bairro Centro para um total de 1994,8 litros de óleo diesel queimados diariamente.

Embora o referido trabalho já demonstre uma preocupação dos autores com a problemática existente na relação entre vegetação urbana e poluição do ar, a metodologia apresentada não permite uma definição clara sobre o tipo de vegetação (arbórea, arbustiva ou herbácea) considerada no cálculo da “área verde”.

Outro trabalho analisado foi de Rocha (2006), que teve o intuito de quantificar e espacializar a cobertura vegetal de porte arbóreo de três bairros da cidade de Santa Maria, realizando um mapeamento das áreas de arborização, e ainda fazer uma comparação dos resultados para os três bairros em estudo.

Como resultado para os três bairros obteve-se os valores de cobertura vegetal distante dos 30% recomendados por Oke (1973 apud LOMBARDO, 1985) como ideais para proporcionar um adequado balanço térmico em áreas urbanas. Chegou-se ao índice de cobertura vegetal de porte arbóreo de 7,20% para o bairro Centro, 8,15% para o bairro Nossa Senhora das Dores, e 4,60% para o bairro Urlândia. Como índice de cobertura vegetal arbóreo (m²/habitante), obteve-se o resultado de 6,59 para o bairro Centro, 11,20 para o bairro Nossa Senhora das Dores e 13,24 para o bairro Urlândia. Salienta-se que a escala das fotografias utilizadas para a realização desta pesquisa foi 1:10000.

Aquele trabalho concluiu que os três bairros estudados apresentam uma quantidade de arborização insuficiente e mal distribuída. Foi utilizado ainda um esquema de configuração da cobertura desenvolvido por Jim (1989 apud NUCCI; CAVALHEIRO, 1999), onde, devido à distribuição das manchas de vegetação aliado à sua forma e ligação entre elas, pode-se classificar o tipo de configuração de cada bairro.

Já o trabalho de TAFFE (1989) teve como objetivo central verificar se as áreas verdes da cidade de Santa Maria são suficientes para preencher o lazer da

população, bem como examinar o grau de poluição aérea existente na área urbana do município. Como resultados da pesquisa verificou-se que a área verde total calculada foi de 39.619.200m², equivalendo a 63,93% da área estudada, dado este que conflita com os estudos mais atuais, que apresentam uma quantidade de cobertura vegetal bem mais baixa. A área verde total por habitante, encontrada pelo autor, ficou em 225,35m²/habitante, muito superior a média recomendada pela ONU de 12m²/habitante.

A discrepância dos resultados encontrados pelo autor deve-se, sem dúvida, ao recorte espacial adotado, a baixa precisão da escala e à generalização da metodologia empregada. Todavia, algumas recomendações apresentadas no trabalho (*op. Cit*) são bastante pertinentes à situação atual da arborização urbana na cidade de Santa Maria. São elas: no espaço edificado, criar um cinturão verde ao redor; observar a legislação que exige a criação de áreas de lazer nos loteamentos novos e incentivar a arborização nos espaços não edificados.

É importante ressaltar que devido a época da realização deste estudo (fim da década de 80) e ainda tendo a cidade sofrido diversas alterações até os dias atuais (como por exemplo o aumento de sua população e construção civil, retirada de cobertura vegetal, aumento do número de veículos), esse trabalho carece de uma necessária atualização e detalhamento, e deve ser tomado muito cuidado para usá-lo como referência no debate atual da vegetação urbana da cidade.

Lucas *et al* (2008), realizou um mapeamento dos biótopos urbanos presentes na parte norte do bairro Centro de Santa Maria-RS, classificando o tipo de biótopo e sua estrutura. Cada biótopo foi classificado dentro de uma classe que expressa o grau de impermeabilização do solo, além do levantamento da estrutura da área livre. Os resultados mostram que dos 718 biótopos identificados (59,35 ha), 464 biótopos possuem alto grau de impermeabilização (60 a 100% da superfície), correspondendo a 64,62% do total de biótopos.

Quanto à vegetação quantificada nesta área de estudo, a vegetação arbórea, arbustiva e herbácea foi identificada em 62,63% das unidades de paisagem, já o restante dos biótopos, não possui nenhum tipo de vegetação expressiva, havendo somente área construída e pequenos jardins.

A análise realizada por Lucas *et al* (*op. cit*), demonstram ser insuficiente a presença do verde urbano no bairro Centro de Santa Maria e sugeriram um local que

pode ser utilizado futuramente para implantação de uma área livre para amenizar a situação de pouquíssimo verde que hoje é vivenciada.

(...) nos locais com um maior adensamento vegetal, parques, praças e áreas livres florestais, identificou-se uma área de 2,18 ha, que representa apenas 3,39% da área total. Porém, não há áreas que permitam a ampliação significativa de áreas verdes, como parques e praças, devido a ocupação já existente de residências, prédios e estabelecimentos comerciais. Isso só seria possível através de desapropriações nestes locais, o que dificulta sobremaneira a gestão ambiental sustentável do bairro. Foram identificados também 4 biótopos classificados como Instalações ferroviárias; destaca-se a linha férrea e a GARE da estação ferroviária, correspondendo a uma área de 4,01 ha (6,76% da área total). Vale destacar que esta é uma área de alta permeabilidade, possuindo uma expressiva área livre, com predomínio da vegetação herbácea. Tal fato justifica seriamente a necessidade de estudo de implantação de um parque urbano municipal nesta área livre da cidade (LUCAS et al, 2008, p. 1000).

1.5 Breve revisão da relação entre ventos e a dispersão de material particulado.

Os ventos são o principal meio de dispersão dos poluentes na atmosfera. A partir da rosa dos ventos local é possível avaliar direção e destino dos poluentes gerados numa zona de alta taxa de emissões, bem como os períodos de baixos níveis de dispersão, devidos à estabilidade atmosférica, que pode ser medida a partir da taxa de variação térmica com a altitude.

A dispersão dos poluentes na atmosfera inclui dois processos: o transporte, dependente dos movimentos do ar, a diferentes escalas, e a difusão, devido à turbulência térmica forçada (MORAM; PORTELLI *apud* ANDRADE, 2002).

O processo de poluição atmosférica se inicia com a emissão dos poluentes pelas fontes, sendo transportados pelas massas de ar até que atinjam um receptor. Cada poluente apresenta características próprias de dispersão na atmosfera. E quanto maior a distância entre a fonte de emissão e o receptor, menor será a concentração de poluentes encontrada nas proximidades deste receptor (DAMILANO, 2006).

Essas massas de ar são influenciadas por variáveis que interferem no fenômeno de dispersão, resultando numa maior ou menor concentração. Quando liberados para a atmosfera, ou seja, após a emissão, os poluentes são dispersos pelos processos de transporte e difusão.

Ainda, segundo esta autora (DAMILANO, 2006), as edificações alteram a topografia original, contribuindo para modificar a velocidade, direção ou intensidade do vento. Desta forma, prédios altos e alinhados podem modificar o fluxo de ar, provocar seu encanamento ou criar espaços sem aeração suficiente, causando acúmulo de poluentes.

Desse modo, para Danni-Oliveira (1999, p.108):

(...) em ocasiões sinópticas de estagnação atmosférica, a qualidade do ar pode ficar comprometida, uma vez que a estrutura topográfica edificada tende a propiciar o confinamento dos poluentes lançados pelo intenso trânsito de veículos automotores que nela trafegam, onde os vales são constituídos pelas ruas, e a verticalidade das paredes dos prédios vêm formar vertentes abruptas, constituindo-se em verdadeiras falésias e canyons urbanos.

O vento é uma grandeza vetorial e como tal apresenta três componentes (x, y, z) sendo que a sua resultante determina a direção do vento em cada instante. A componente vertical do vento (z) é responsável pela turbulência enquanto que as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição das plumas de poluição (DAMILANO,2006). A velocidade do vento aumenta em altura afetando de uma maneira mais direta a massa de poluentes emitidos pelas chaminés de grande altura principalmente no momento inicial da mistura dos gases de saída com a camada atmosférica. Em situações de calmaria, ocorre estagnação do ar, proporcionando, um aumento nas concentrações dos poluentes.

A temperatura do ar demonstra ser uma importante variável quando busca-se entender os mecanismos de dispersão e concentração de poluentes através dos ventos. Temperaturas mais elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), gerando uma eficiente condução dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados. Por outro lado, temperaturas mais baixas não desenvolvem movimentos verticais de ar, fazendo como que os poluentes fiquem mais concentrados nos níveis mais baixos.

Neste sentido, segundo Damilano (2006, p.17):

“estabilidade atmosférica é que determina a capacidade do poluente de se expandir verticalmente. Em situações estáveis na atmosfera, cria-se uma barreira ao deslocamento vertical dos poluentes. Quando ocorre o fenômeno da inversão térmica, a capacidade de dispersão fica bem limitada. A inversão térmica acontece quando uma camada de ar quente se instala

acima de camadas mais frias próximas da terra. Em geral, a atmosfera esfria a medida em que aumenta a altitude, porém devido ao movimento das massas de ar ou pelo tipo de incidência dos raios solares sobre a Terra, o fenômeno da inversão térmica ocorre; e com ele, todos os poluentes que estão presentes no ar e mais próximos do solo ficam ali confinados. As inversões térmicas são as que mais contribuem para o aumento da concentração de poluentes, mais próximo à superfície”.

Segundo Damilano (2006), em estudo realizado para a região metropolitana de São Paulo, os episódios de maior concentração de poluentes ocorrem na presença de um sistema de alta pressão (anticiclone) semi-estacionário sobre a região, atuando de forma desfavorável a dispersão dos poluentes, com ventos fracos e a formação de inversões térmicas próximas a superfície.

Quando analisado a dinâmica de funcionalidade dos sistemas atmosféricos da cidade de Santa Maria, sabe-se que os ventos em superfície que antecedem os sistemas frontais (entrada de frentes frias) na grande maioria das vezes são do quadrante norte, enquanto que os ventos que acompanham a entrada da frente, que seguem com ela, são do quadrante sul-sudeste. Neste sentido, pode-se dizer que estes ventos do quadrante norte (mais fortes) podem ser os responsáveis por grande parte da dispersão dos poluentes gerados no sistema urbano desta cidade, como também podem ser os responsáveis pelo arraste de poeiras que advém de suas periferias situadas na zona norte da cidade.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As características ambientais e também do sistema urbano construído, constituem os fatos de maior interesse na descrição do recorte espacial em estudo. Este capítulo serve de subsídio para o entendimento da atual condição geológica e geourbana do bairro Centro de Santa Maria e também de algumas características gerais da cidade.

2.1 Recorte espacial da pesquisa

A escolha do bairro Centro para a realização deste estudo deve-se as seguintes hipóteses e critérios:

- O bairro Centro é o lugar de maior circulação de pessoas e veículos, onde se pratica as mais diversas formas de interferência à natureza, e ao já frágil equilíbrio do sistema ambiental urbano.
- Devido à maior incidência de fluxo de veículos, provavelmente é o setor de pior qualidade do ar na cidade, sendo que esse pode ser um fator preponderante quando da análise das concentrações de poeiras coletadas em diferentes ruas e avenidas da cidade.
- A existência de ruas no bairro Centro com e sem presença de vegetação, podem vir a comprovar a idéia de que quando verifica-se um tráfego veicular parecido, os locais com significativa presença de arborização podem ter menores concentrações de material particulado devido ao serviço atenuante exercido pela vegetação.
- A existência de estudos realizados nesta área, sendo este bairro o local de diversos estudos por parte de pesquisadores da UFSM envolvidos com a questão ambiental, devido, principalmente, ao comprometimento da qualidade de vida gerado pela deteriorização ambiental decorrente do processo acelerado de ocupação antrópica nos últimos 30 anos.
- A existência de instrumentos adequados para pesquisa (imagem de satélite IKONOS) de alta resolução, que pode servir de instrumento atualizado e de bastante detalhamento para a análise deste espaço.

O município de Santa Maria está localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente na Depressão Periférica Sul-Riograndense,

nas coordenadas geográficas de 29° 39' a 29° 43' de latitude sul, e 53° 50' a 53° 45' de longitude oeste.

Sua circulação atmosférica regional é, na grande maioria dos dias controlada por sistemas atmosféricos extra-tropicais (cerca de 90% dos dias do ano), principalmente sob a forma de Massa Polar Atlântica ou Massa Polar Velha. São poucos os dias em que se tem o domínio climático controlado pela Massa Tropical Atlântica, que se restringem basicamente no período do verão (SARTORI, 1993). Apresenta ainda, características de invernos frios, com média entre 13C° e 15C°, e verões quentes, com a média do mês mais quente superior a 24C°. Os índices anuais de pluviometria situam-se na casa dos 1750mm em média.

A região central da cidade está assentada sobre uma área colinosa, que define-se como a área mais elevada do sítio urbano de Santa Maria, com 150 metros de altitude e declividades entre 6,9 e 8,3%, formando um divisor de águas, mais precisamente na Rua do Acampamento (SARTORI, 1979).

. Santa Maria é banhada por duas bacias hidrográficas, a do rio Ibicuí e do Vacacaí, sendo este último o de maior importância devido seu afluente, o Arroio Cadena, correr por diversos bairros desta cidade. A área de estudo (FIGURA 9) situa-se na transição entre os campos sulinos e a floresta estacional decidual², que acompanha o desenho do rebordo do planalto gaúcho.

Atualmente Santa Maria é a quinta maior cidade do Rio Grande do Sul, com uma população de 266.042 habitantes (IBGE, 2005). A economia da cidade está baseada no setor terciário, salientando-se muito na cidade o setor educacional, principalmente após a criação da Universidade Federal de Santa Maria e também o setor militar com seus quartéis e uma base aérea.

No intuito de melhor compreender as diferentes concentrações de material particulado no bairro Centro, torna-se necessário conhecer as características naturais, assim como urbanas, sabendo-se que estas estão intimamente relacionadas entre si, através de trocas energéticas e materiais.

² Este tipo de vegetação é caracterizado por duas estações climáticas bem demarcadas. No RS, a cidade se enquadra de acordo com a classificação climática de Köppen como mesotérmico brando Cfa, possuindo uma curta época muito fria e que ocasiona, provavelmente, a estacionalidade fisiológica da floresta. Esta formação ocorre na forma de disjunções florestais apresentando o estrato dominante predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhas no período frio.

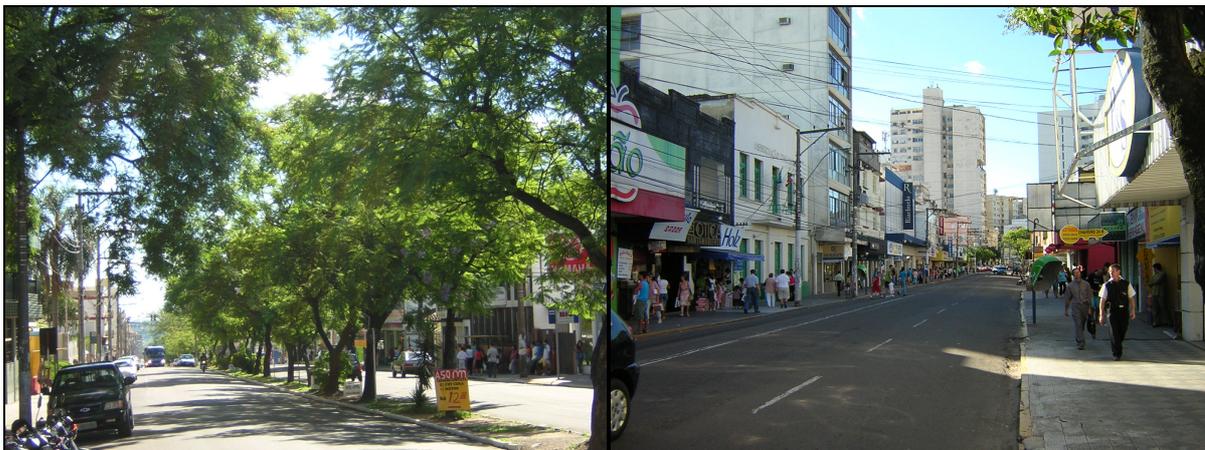
De acordo com a literatura, as áreas que apresentam os maiores índices de poluentes, e consequentemente material particulado, coincidem com espaços de alto fluxo de veículos, pouca vegetação ou proximidade de outras fontes poluidoras, tais como as industriais. Para o caso da cidade de Santa Maria, e mais especificamente para o seu bairro Centro, sugerem-se, como hipóteses, que as duas primeiras situações podem ser as responsáveis por prováveis elevações nas concentrações de material particulado.



FIGURA 9: Localização da área em estudo.
Fonte: Imagem de satélite IKONOS do ano de 2005.
Org. ROCHA, J. R.

Em geral, o bairro Centro apresenta duas situações distintas quanto à estrutura de suas ruas. A primeira com presença de avenidas largas, com corredores de vegetação (canteiro central), como no caso da Avenida Rio Branco, Avenida Presidente Vargas e Avenida Medianeira, e outra situação com ruas estreitas e

pouca presença de elementos vegetais, como é o caso da Rua do Acampamento, Floriano Peixoto e Serafim Valandro (FIGURAS 10 e 11).



FIGURAS10 e 11 – Vista da Avenida Presidente Vargas (à esquerda, larga e com vegetação) e da Rua do Acampamento (à direita, estreita e praticamente sem presença de vegetação).

A soma das características urbanas com as de natureza ecológica propiciam diferentes situações quanto a concentração de material particulado nas diferentes ruas e avenidas do bairro Centro da cidade.

No que se refere aos principais tipos de ventos presentes na cidade, de acordo com SARTORI (1984), os mais importantes em Santa Maria são os de leste (predominantes em frequência), os de norte e noroeste (mais quentes e de maior velocidade), e os de sul e sudeste (mais frios e segundos em frequência). Ainda neste sentido, a topografia da cidade, com o rebordo do planalto situado a norte, e alongando-se no sentido leste-oeste, é responsável pela canalização do vento em direção à cidade, auxiliando na predominância dos ventos de leste (FIGURA 12).

Ainda, conforme SARTORI (1979), ao penetrar na área urbana a direção dos ventos pode ser alterada, e nesse sentido, para o caso de Santa Maria, pode se afirmar que “a topografia mais elevada da área urbana, representada pelo planalto e seus morros testemunhos, são responsáveis pela canalização do vento em direção à cidade, auxiliando na predominância dos ventos de leste e em seguida pelos de sudeste”.

Para SARTORI (1984, p.67)

(...) a disposição das ruas na malha urbana da cidade nos sentidos ENE-WSE, e SSE-NNW, favorece a ventilação natural, canalizando os ventos predominantes de leste e sudeste, associados ao domínio das massas

polares, bem como os mais intensos e quentes do norte e noroeste, das fases pré-frontais, e os mais frios de sul e sudoeste.



FIGURA 12 – Imagem parcial do sítio urbano da cidade com a direção dos ventos mais importantes.
Fonte: Adaptado de Sartori (1979).

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

O roteiro metodológico para o desenvolvimento desta pesquisa pode ser visualizado no fluxograma que constitui a FIGURA 13, o qual expressa, de forma sintética, as diversas etapas que se sucederam ao longo da investigação.

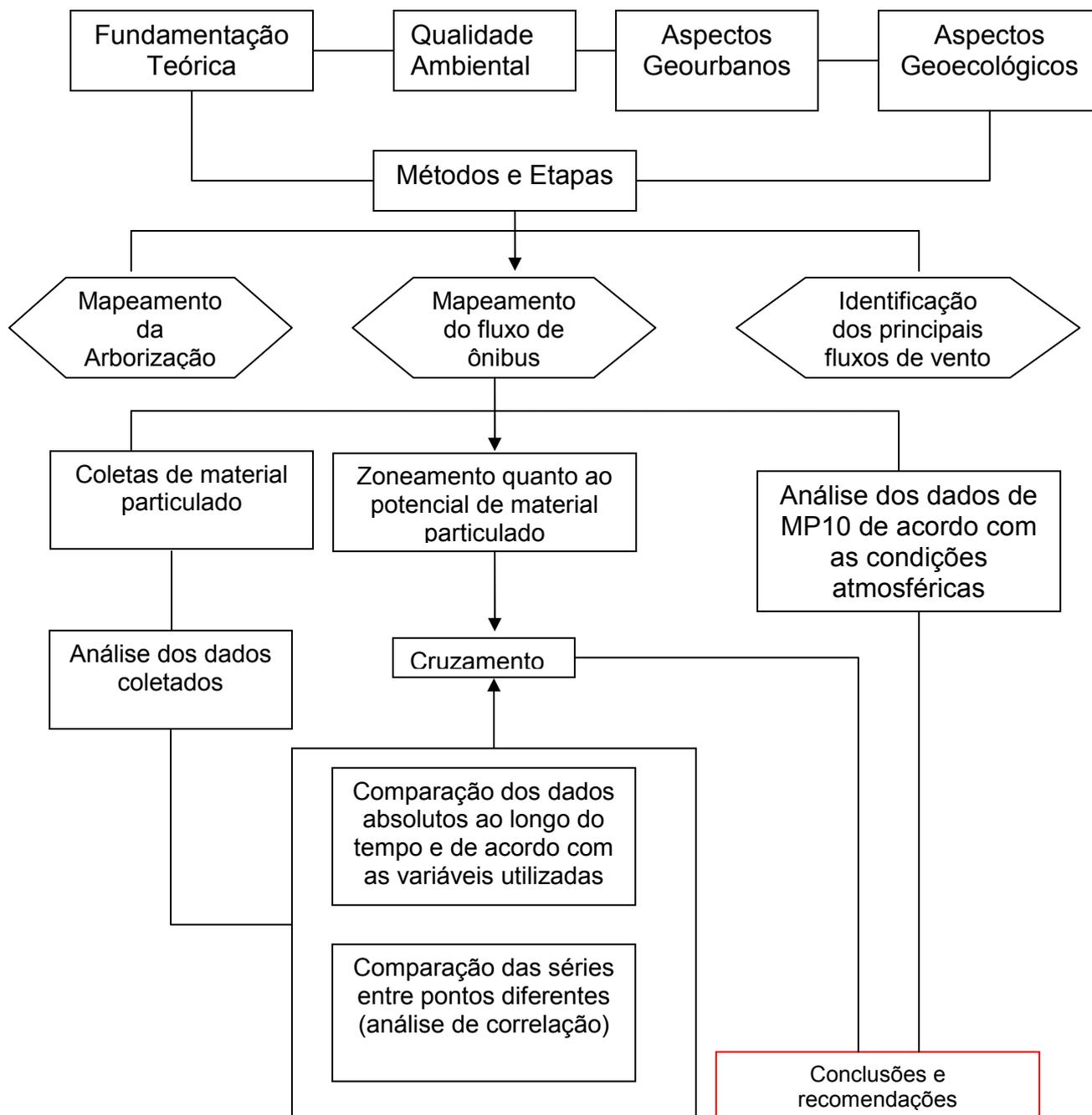


FIGURA 13 – Roteiro metodológico adotado para esta pesquisa.

O desenvolvimento do trabalho proposto seguiu quatro grandes momentos:

1º - Elaboração de um zoneamento ambiental do bairro Centro de Santa Maria, com enfoque na qualidade do ar:

Para a realização deste zoneamento ambiental foram levados em conta os seguintes critérios:

→ Mapa de cobertura vegetal, onde foi quantificada toda a cobertura vegetal de porte arbóreo existente no bairro Centro, visível na imagem de satélite IKONOS de escala 1:10.000 do ano de 2005.

→ Mapa do fluxo de ônibus, onde foram identificadas e quantificadas as principais rotas de ônibus que percorrem o bairro Centro de Santa Maria. O levantamento destes fluxos foi realizado através das informações obtidas diretamente nas empresas de transporte urbano da cidade, de forma a contemplar a variabilidade do trânsito nos diferentes meses do ano e também dias da semana. → Identificação a campo dos eixos urbanos do bairro Centro que propiciam fluxos de vento mais intensos, de acordo com os tipos de tempo mais freqüentes na atmosfera da cidade.

→ Para a elaboração destes mapas foi utilizado do Software Spring, versão 3.3 para windows e também o software Corel Draw 12, o qual serviu para a edição final dos mapas.

→ Depois de elaborado o zoneamento ambiental, se classificou em zonas de alta, média e baixa fragilidade em relação ao potencial de concentração de material particulado.

Salienta-se que a topografia do sítio urbano não foi inserida como uma das variáveis que participaram do “cruzamento” para a elaboração do zoneamento ambiental. Dessa forma, buscando contemplar da melhor forma possível os fatores que podem estar agindo nas concentrações de particulados, após a verificação dos dados obtidos a campo, realizou-se a análise dos pontos que obtiveram as maiores concentrações de particulados e a possível influência exercida pelo sítio urbano através de perfis topográficos.

2º Levantamento dos dados referente ao material particulado:

Esta etapa consistiu em verificar a quantidade de material particulado (poeira), nas principais ruas e avenidas do bairro Centro da cidade, e sua relação com os principais tipos de tempo presentes na atmosfera da cidade de Santa Maria.

Devido a falta de equipamentos mais precisos na UFSM e as limitações financeiras para aquisição destes equipamentos, optou-se pela elaboração de um material de coleta artesanal. Neste sentido, segundo DANNI-OLIVEIRA (1999, p. 86), a construção de equipamentos alternativos tem viabilizado trabalhos acadêmicos, possibilitando o desvendar do clima e dos fenômenos urbanos de muitas cidades brasileiras.

Da mesma forma, Monteiro (apud MISSIO, 2004, p.49) diz que o pesquisador deve ser ousado e criativo quando da falta de recursos e infra-estrutura tecnológica, e se for necessário utilizar-se de aparelhos simples, mesmo que os resultados e informações venham a ser limitados não oferecendo margem a certezas, porém certamente conduzirão a hipóteses.

Para a coleta do material particulado, primeiramente foi utilizada a metodologia proposta por Troppmair (1988), que em um capítulo de seu livro apresenta alguns métodos para coletar material particulado.

A técnica utilizada consistiu na preparação e distribuição, no interior da área de estudo, de plaquetas de retenção de material particulado (FIGURA 14). Essas plaquetas são de fácil construção, utilizando-se uma base de madeira, onde é fixado através de “tachinhas” um papel do tipo laminado, recortado de forma retangular onde é coberto por uma fina camada de vaselina pura, devendo deixar as folhas de papel laminado por 24 h numa temperatura de 25 a 30C° em um local fechado, estando assim protegido contra o pó.

Estas “placas” servirão de suporte para a deposição do material particulado, uma vez que com o uso da vaselina as partículas de poeira ficam retidas em cima deste papel. Após algum período de exposição, fornecem dados referentes ao total de material particulado, a partir da diferença de peso entre antes e após a exposição. Essa diferença de deposição nas plaquetas poderá ser verificada na FIGURA 15.



FIGURA 14: Material artesanal para coleta de material particulado.



FIGURA15: Deposição de material particulado nas placas de coleta, uma limpa e outras duas sujas após exposição.

A utilização desta metodologia para coleta de material particulado, após várias tentativas a campo, demonstrou-se ineficiente e de baixa confiabilidade. Chegou-se a esta constatação, uma vez que, após a retirada da plaqueta a campo, e realizada sua pesagem na balança de precisão, o peso final demonstrava-se inferior ao peso inicial, muito possivelmente devido à evaporação de alguns dos elementos que compõe a vaselina. Sendo assim, durante a utilização desta metodologia, não foi possível a obtenção de dados confiáveis relativos à deposição de material particulado.

Como segunda proposta para coleta de material particulado, partiu-se também da confecção de material artesanal para coleta. Nesta tentativa utilizou-se

de uma plaqueta de ferro, de tamanho 15 x 4,5 cm, com uma área de 67,5cm², coberta totalmente com fita adesiva com a cola voltada para cima, para que o que fosse depositado na área da plaqueta ficasse grudado na área da fita. Para este método foram realizadas algumas adaptações no sentido do tempo de exposição das amostras, a fim de que não ocorresse um ressecamento da cola e, novamente, uma diminuição do peso final em relação ao peso inicial.

Iniciou-se a pesquisa deixando exposta a plaqueta por uma semana ou até que uma frente fria dominasse atmosfera da cidade e viesse acompanhada de chuva. Nesse sentido deveria o pesquisador estar preparado para a retirada das amostras antes que ocorressem as primeiras precipitações para que não alterasse o valor coletado. Esta metodologia, devido a problemas de locomoção rápida para a retirada das amostras e também da confiabilidade dos dados após exposição por vários dias (foi verificado que quando deixada por uma semana exposta a plaqueta o peso final de algumas amostras que ficam expostas ao sol foi menor que o inicial) ,teve de ser alterada.

Sendo assim, tomou-se como padrão quatro dias para a realização das coletas, pois nesse período de tempo não se verificou perda de peso na plaqueta e também favoreceu a retirada das amostras. Considerou-se o período de uma semana como um tempo relativamente grande para que não ocorresse nenhuma precipitação, principalmente sabendo da posição geográfica onde se localiza a cidade de Santa Maria e toda a dinâmica das massas de ar que controlam os tipos de tempo nesta região.

Para que a coleta de material particulado pudesse contemplar o objetivo central proposto nessa pesquisa, que é verificar a relação existente entre as condições geológicas locais e a quantidade de material particulado (poeiras) nas principais ruas e avenidas do bairro Centro de Santa Maria, associando-se ainda, como variável de influência, o fluxo de veículos, foram escolhidas algumas ruas e avenidas para as coletas, de forma que contemplem todas as variáveis (situações) possíveis estipuladas como que atenuantes ou dispersoras de material particulado.

Neste sentido, o instrumento de coleta de material particulado foi distribuído tanto em ruas e avenidas com presença de vegetação arbórea, quanto em locais de escassa arborização, para verificar a existência de diferenças nas quantidades de deposição, como decorrência da capacidade de diferenças de “filtragem” na vegetação. Foram escolhidas também ruas com alto e baixo fluxo de veículos, tendo

como princípio a idéia de que os veículos, e principalmente os movidos a óleo diesel, são os principais responsáveis pela origem e emissão de grande parte do material particulado que se encontra nas ruas do bairro Centro.

Outra variável em análise, quanto aos fatores de dispersão de material particulado, e utilizado na escolha das ruas e avenidas onde foram colocadas as plaquetas de coleta, foi o sentido do arruamento, uma vez que o sentido das ruas, quando da existência de ventos, pode fazer com que estes se canalizem e tragam partículas de poeiras de outros lugares da cidade, bem como dispersem o material poluente emitido pelos veículos.

Os locais selecionados para coleta de material particulado no bairro Centro foram definidos após a análise das ruas e avenidas que correspondiam a critérios geocológicos e geourbanos distintos. Esses critérios de seleção foram utilizados no sentido de tentar explicar as diferentes concentrações de material particulado a partir de realidades distintas encontradas na cidade.

O local número 1 de coleta corresponde ao canteiro central da Avenida Rio Branco, está que possui significativa arborização em seu canteiro, formando certo agrupamento entre suas copas, alto fluxo de ônibus e alguns edifícios de grande porte. A plaqueta número 2 também foi situada nesta avenida, embora na mureta de um edifício, para que se verificasse a diferença nas concentrações em um mesmo local, embora um com e outro sem a barreira de arborização. O arruamento desta avenida possui direção norte-sul.

O local número 3 de coleta nos remete a Rua do Acampamento, de calçadas estreitas e com escassa presença de elementos arbóreos. Esse ponto de coleta possui elevado número de linhas de ônibus que trafegam em sua rua e orientação norte-sul. O local número 4 de coleta corresponde a Rua Serafim Valandro, também com escassa vegetação, poucas linhas de ônibus, proximidade com edifícios de médio porte e orientação leste-oeste.

O local número 5 de coleta situa-se na Rua Vale Machado, rua esta com presença de poucos elementos arbóreos e baixo fluxo de ônibus. Esta rua possui orientação leste-oeste e conta com pequeno número de prédios altos, esses situados próximos ao local destinado a coleta. O local de coleta número 6 encontra-se na Rua André Marques, com pouca presença de vegetação e baixo número de linhas de ônibus. Esta rua possui arruamento no sentido norte-sul. O local número 7

localiza-se na Rua Pinheiro Machado, de insignificante presença de vegetação, baixo número de linhas de ônibus e orientação leste-oeste.

O local número 8 de coleta encontra-se na Avenida Presidente Vargas, de ruas largas, alto número de linhas de ônibus, orientação leste-oeste e presença de vegetação no canteiro central. O local número 9 remete a Avenida Medianeira, de boa presença de vegetação, baixo fluxo de ônibus, e orientação leste-oeste. Ambas avenidas possuem edificações de médio a grande porte. Estes locais que selecionados para as coletas podem ser visualizados na FIGURA 16.

Na elaboração do mapa de espacialização das concentrações de material particulado, foram georreferenciados todos os pontos de coleta, para posteriormente utilizar-se do software Surfer 8, o qual realiza a interpolação dos dados pelo método de “Krigagem”.

Para que fosse realizado um acompanhamento temporal da evolução destes índices na cidade de Santa Maria, foram utilizados os dados fornecidos pela FEPAM/RS, uma vez que já dispúnhamos destes índices referente ao período de julho de 2004 até meados de janeiro de 2007, coletados junto a Estação móvel de monitoramento da qualidade do ar, situada na Avenida Borges de Medeiros e Presidente Vargas. Estes dados nos forneceram o monitoramento diário da qualidade do ar no que se refere ao material particulado, fazendo com que se fosse possível realizar a investigação dos índices de poluição, de acordo com as condições atmosféricas vigentes no período de coleta da Estação.

A escolha de buscar a relação entre as concentrações de material particulado inalável, fornecidos pela FEPAM, e os tipos de tempo, utilizando como períodos de análise inverno e verão, deve-se primeiramente, ao fato de que os dados fornecidos pela FEPAM não cobriam de forma suficiente uma busca de comparação entre outras estações de ano para mais de um ano de análise. Saliencia-se também que outra razão para isto, é de que o inverno, conforme a literatura, constitui-se da época do ano mais propícia a elevados índices de concentração de partículas na atmosfera. Outro aspecto para esta escolha deve-se por estas duas estações do ano possuírem características atmosféricas extremas, a comparação acaba por revelar de forma mais evidente os controles exercidos pelas variáveis geológicas em jogo.

Posteriormente foram solicitados, também junto a FEPAM/RS, os índices de material particulado referente aos dias em que forem realizadas as coletas em campo, para que os mesmos pudessem servir de base para comparação com os dados de coleta; todavia isto não foi possível devido à Estação móvel de coleta de poluentes localizada na Avenida Borges de Medeiros não estar mais funcionando nesta cidade.

3º Cruzamento dos dados:

A terceira etapa consistiu no cruzamento dos dados de material particulado com o mapa de zoneamento previamente elaborado, com vistas a estabelecer possíveis correlações e, também, testar a eficácia do zoneamento ambiental no que se refere à qualidade do ar na cidade de Santa Maria.

Para a elaboração do zoneamento ambiental quanto a pré-disposição de material particulado, utilizou-se do cruzamento entre as variáveis estabelecidas através de matrizes.

Dessa forma os critérios utilizados foram os seguintes:

RELAÇÃO VEGETAÇÃO X FLUXO DE ÔNIBUS

Este cruzamento parte da premissa que quanto maior a presença de vegetação e menor o fluxo de ônibus menor será a quantidade de material particulado depositado nas ruas ou avenidas. Dessa forma quanto mais presente for a arborização das ruas e avenidas (consequentemente maior capacidade de atenuar as partículas de poeiras) e menores as quantidades de linhas de ônibus cruzarem por elas, menor será o potencial à deposição de material particulado.

- uma rua ou avenida classificada como “com presença de vegetação” cruzada com uma rua ou avenida de alto número de linhas de ônibus, seria de médio potencial a deposição de particulados;

- uma rua ou avenida classificada como “com presença de vegetação” e cruzada com uma rua ou avenida de baixo número de linhas de ônibus, seria de baixo potencial a deposição de particulados;

- uma rua ou avenida tida como “sem presença de vegetação” cruzada com uma rua ou avenida de baixo número de linhas de ônibus, seria de médio potencial a deposição de particulados;

- uma rua ou avenida tida como “sem presença de vegetação” cruzada com uma rua ou avenida de alto número de linhas de ônibus, seria de alto potencial a deposição de particulados;

RELAÇÃO VEGETAÇÃO X VENTOS

Este cruzamento parte da premissa de que, de acordo com os ventos mais freqüentes em Santa Maria, as ruas de sentido leste-oeste teriam melhorada sua qualidade do ar devido a maior dispersão as poeiras sofrem devido à maior ventilação. Dessa forma, quanto mais vegetação tiver para barrar as partículas emitidas, aliado ao arruamento leste-oeste, menor será o potencial a deposição de particulados.

- uma rua ou avenida classificada como “sem presença de vegetação” cruzada com uma rua ou avenida de sentido de arruamento norte-sul, seria de médio potencial a deposição de particulados;

- uma rua ou avenida classificada como “com presença de vegetação” cruzada com uma rua ou avenida de sentido de arruamento leste-oeste, seria de baixo potencial a deposição de particulados;

- uma rua ou avenida classificada como “sem presença de vegetação” cruzada com uma rua ou avenida de sentido de arruamento norte-sul, seria de alto potencial a deposição de particulados;

- uma rua ou avenida classificada como “sem presença de vegetação” cruzada com uma rua ou avenida de sentido de arruamento leste-oeste, seria de médio potencial a deposição de particulados;

RELAÇÃO FLUXO DE ONIBUS X VENTOS

Este cruzamento parte da idéia de que quanto menores forem os fluxos de ônibus (menor número de partículas emitidas), e coincidindo com o arruamento

leste-oeste(que facilita a circulação do vento) menores serão as quantidades de partículas nas ruas e avenidas investigadas.

Salienta-se que o resultado final para saber se uma rua ou avenida é classificada como de “médio”, “alto”, ou “baixo” potencial a deposição de particulados, deve-se a predominância de algum dos resultados encontrados no cruzamento. Infere-se que a letra “x” ,que aparece junto nos cruzamentos, significa que as outras variáveis não estão presentes no na rua ou avenida em análise.

Para o cálculo das correlações entre os episódios de coleta de material particulado coletado utilizou-se do software Excel, o qual forneceu de forma exata o grau de correlação entre os dados de cada local coletado. Salienta-se que para a análise da significância dos resultados de correlação encontrados utilizou-se do coeficiente de Pearson, onde foram analisadas as correlações que obtiveram índice superior a 0,60. Dessa forma, segundo Pocinho & Figueiredo (2004 apud FIGUEIRÓ, 2005), os coeficientes (r) situados entre $0,20 < r < 0,35$, indicam ligeira relação entre as variáveis; os situados entre $0,35 < r < 0,65$, indicam correlação estatisticamente significativa; $0,65 < r < 0,85$, indica correlações que tornam possíveis predições; por fim, com $r > 0,85$, tem-se uma íntima correlação entre as variáveis correlacionadas. É importante enfatizar que para o cálculo das correlações utilizou-se o resultado de todos os períodos para cada um dos locais de coleta.

4º Análise e cruzamento dos dados referentes as concentrações de material particulado e os tipos de tempo em Santa Maria/RS;

Buscando-se relacionar os episódios de maior concentração de material particulado inalável, fornecidos pela Estação móvel de monitoramento da qualidade do ar (FEPAM/RS), com a sucessão habitual dos principais tipos de tempo em Santa Maria, utilizou-se da proposta desenvolvida por SARTORI (1993), onde esta autora analisa os principais tipos de tempo que ocorrem no inverno gaúcho. Sendo assim, a utilização deste modelo para todo o ano se deve pela grande participação destes sistemas o ano inteiro, devido a posição latitudinal em que se encontra a cidade de Santa Maria. Neste sentido, segundo SARTORI (*op cit.*), os tipos de tempo originados pela participação dos sistemas atmosféricos polares são de extrema

relevância e ocupam destacada importância na formação do clima local, uma vez que os mesmos atuam em cerca de 90% dos dias do ano.

Ainda, conforme Sartori (*apud* MISSIO, 2004, p.31) “na primavera e verão a maior frequência é da Massa Polar Velha (43,3 e 48,3%) e no outono e inverno é da Massa Polar Atlântica a liderança (47,8% e 61,7%), e Frente Polar Atlântica atuam, em média, em 20% dos dias do ano. Os 10% restantes são divididos entre os de origem tropical”.

Para a caracterização da sucessão destes tipos de tempos habituais no Rio Grande do Sul utilizou-se da proposta de SARTORI (1993) que assim os caracteriza:

1ª fase: Pré Frontal –

Caracteriza-se por anteceder a passagem de uma frente fria sobre a região, que está sob domínio de uma massa polar que, em contato e permanência com a superfície continental mais quente, adquiriu suas características, aquecendo-se.

A pressão atmosférica é baixa e os ventos sopram do quadrante Norte (N ou NW), com velocidades variáveis de calmas até moderadas (8 a 12 m/s), mas em algumas situações esporádicas as rajadas podem atingir até os 100 Km/h, dando origem a um típico vento local, denominado popularmente de “Vento Norte”.

As temperaturas máximas são superiores a 20°C e a umidade relativa do ar é geralmente inferior a 50%. Segundo SARTORI (1986), devido a estas características atmosféricas, esta fase é a que apresenta as melhores condições atmosféricas para a formação da ilha de calor em Santa Maria.

2ª fase: Frontal –

Corresponde à passagem da Frente Polar Atlântica (Frente Fria) sobre o Rio Grande do Sul, que na fase anterior encontrava-se sobre a Argentina e Uruguai. Essa fase caracteriza-se por ventos de direção e velocidade não definidos, pressão atmosférica alcança os valores mínimos do episódio, o céu apresenta-se encoberto com nuvens Sc, Ns e Cb e precipitações (que pode não ocorrer), determinando pequena amplitude térmica pela ausência de insolação direta e fraca radiação.

3ª fase : Domínio Polar –

Logo após a passagem da frente fria responsável pela instabilização do tempo, há o domínio absoluto das condições atmosféricas pela Massa Polar Atlântica (M.P.A) sobre o RS.

O domínio da massa polar é caracterizado pelo intenso declínio das temperaturas mínimas e máximas, que, se reforçado por ar polar da vertente pacífica, poderá facilmente atingir valores negativos. A pressão atmosférica está em significativa elevação nesta fase, sendo que os ventos sopram do quadrante sul ou oeste, também ocorrendo bastantes episódios de calmarias.

O céu apresenta-se, diferentemente da fase anterior, totalmente límpido, o que permite ampla insolação durante o dia e forte irradiação à noite, ocasionando inversões de temperatura e favorecendo a formação de geadas e nevoeiros.

4ª fase: Transicional –

A massa de ar polar que dominou o tempo sobre a região na fase anterior, em virtude de seu avanço para latitudes mais baixas e pelo tempo de permanência em contato com a superfície do continente, modifica-se pelo aquecimento basal, entrando em processo de tropicalização (Massa Polar Velha ou Tropicalizada).

Esta fase representa a transição entre o domínio do tempo pela Massa Polar e uma nova Frente Fria, que já começa a se definir sobre a Argentina. Como características destas condições atmosféricas, o céu se mantém limpo, o que favorece a insolação, permite grandes amplitudes térmicas pela elevação da temperatura durante o dia, propicia a formação de orvalho durante a noite, predominando ventos leves de E e NE.

4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Inicialmente, buscou-se a elaboração de um mapeamento quanto a espacialização da cobertura vegetal de porte arbóreo e também dos fluxos de ônibus nas ruas e avenidas do bairro Centro. Estes mapas foram necessários para nortear a escolha das ruas e avenidas utilizadas na coleta de dados referente às deposições de material particulado, buscando verificar a diferença de comportamento na deposição sob diferente atuação das variáveis em análise. Estes mapas foram utilizados posteriormente como base para a elaboração do mapa de zoneamento ambiental quanto ao potencial de deposição de material particulado.

4.1 Mapeamento das variáveis utilizadas na elaboração do zoneamento ambiental do bairro Centro.

Quando analisada a cobertura vegetal de porte arbóreo do bairro Centro, verifica-se que são poucos os locais em que se tem certa continuidade, ou mesmo conexão entre os elementos arbóreos, salvo exceção do canteiro central da Avenida Rio Branco e parcelas da Avenida Presidente Vargas e Medianeira, conforme visualiza-se na FIGURA 17 que segue. Neste sentido, verifica-se que grande parte dos elementos arbóreos encontram-se espalhados, com as árvores apertadas em calçadas e em alguns pequenos espaços, como o caso da arborização presente na praça central, em alguns lotes residenciais, ao longo do parque Itaimbé, e também no terreno do antigo hospital da Universidade Federal de Santa Maria.

Verifica-se que a distribuição da arborização em geral ocorre sem conexão entre os elementos arbóreos, demonstrando-se insuficiente na maior parte do bairro, principalmente na área “core” central do bairro, onde devido o maior número de edificações e impermeabilização, tem-se a menor presença do elemento arbóreo. Foi possível verificar, através do mapeamento da cobertura vegetal arbórea, um índice de 8,23% de cobertura arbórea para o bairro Centro, valor este muito abaixo dos 30% estimados por Lombardo (1985), como recomendáveis para proporcionar um adequado balanço térmico.

Quanto ao mapa de linhas de ônibus, verifica-se que justamente essas regiões que apresentam um “deserto” arbóreo coincidem com ruas de grande fluxo de ônibus, tais como a Rua do Acampamento, Riachuelo, General Neto e André Marques (FIGURA 18). Esse fato faz com que as partículas emitidas por carros e ônibus tenham ainda maior contato com a população que circula nestas ruas, uma vez que a vegetação poderia atuar como barreira desse material, bem como na purificação do ar.

4.2 Zoneamento ambiental quanto ao potencial de deposição de material particulado para o bairro Centro de Santa Maria

Para a elaboração deste zoneamento ambiental que visa analisar a predisposição de deposição de material particulado nas principais ruas e avenidas do bairro Centro, utilizou-se algumas variáveis consideradas de grande influência no sentido de dispersar/atenuar e ou intensificar as concentrações de material particulado no bairro Centro de Santa Maria, com base no que foi exposto no referencial teórico.

As variáveis utilizadas para a demarcação das ruas e avenidas mais propícias ao acúmulo de particulados foram: presença de vegetação, fluxo de ônibus, e ainda o sentido do arruamento, conforme se pode visualizar no mapa (FIGURA 19), e que demonstra a espacialização das variáveis em análise. Estas duas primeiras variáveis foram ainda definidas em classes, sendo que foi realizado cruzamentos entre elas para que se encontrassem as ruas ou avenidas com maior pré-disposição a deposição de particulados.

A variável vegetação foi definida em função da sua significativa presença, em ruas “com vegetação” e ruas “sem vegetação”, no sentido de que ruas com presença de apenas alguns elementos arbóreos, que não formam nenhuma conexão entre si, foram classificados como locais “sem presença de vegetação”.

Para a variável fluxo de ônibus foram definidas duas classes quanto a intensidade de tráfego. Sendo assim, foi estabelecido como classe considerada de “baixo fluxo” quanto o número de linhas de ônibus as ruas que trafegam até 23 linhas de ônibus. Estabeleceram-se como ruas de “alto fluxo” as que ultrapassam esse valor (>23 linhas), no que se refere ao tráfego deste tipo de veículo de transporte.



FIGURA 17 – Mapa da cobertura vegetal arbórea do bairro Centro de Santa Maria/RS.
 Fonte – Base cartográfica cedida pelo INPE, referente a imagem IKONOS na escala 1:10000 do ano de 2005.

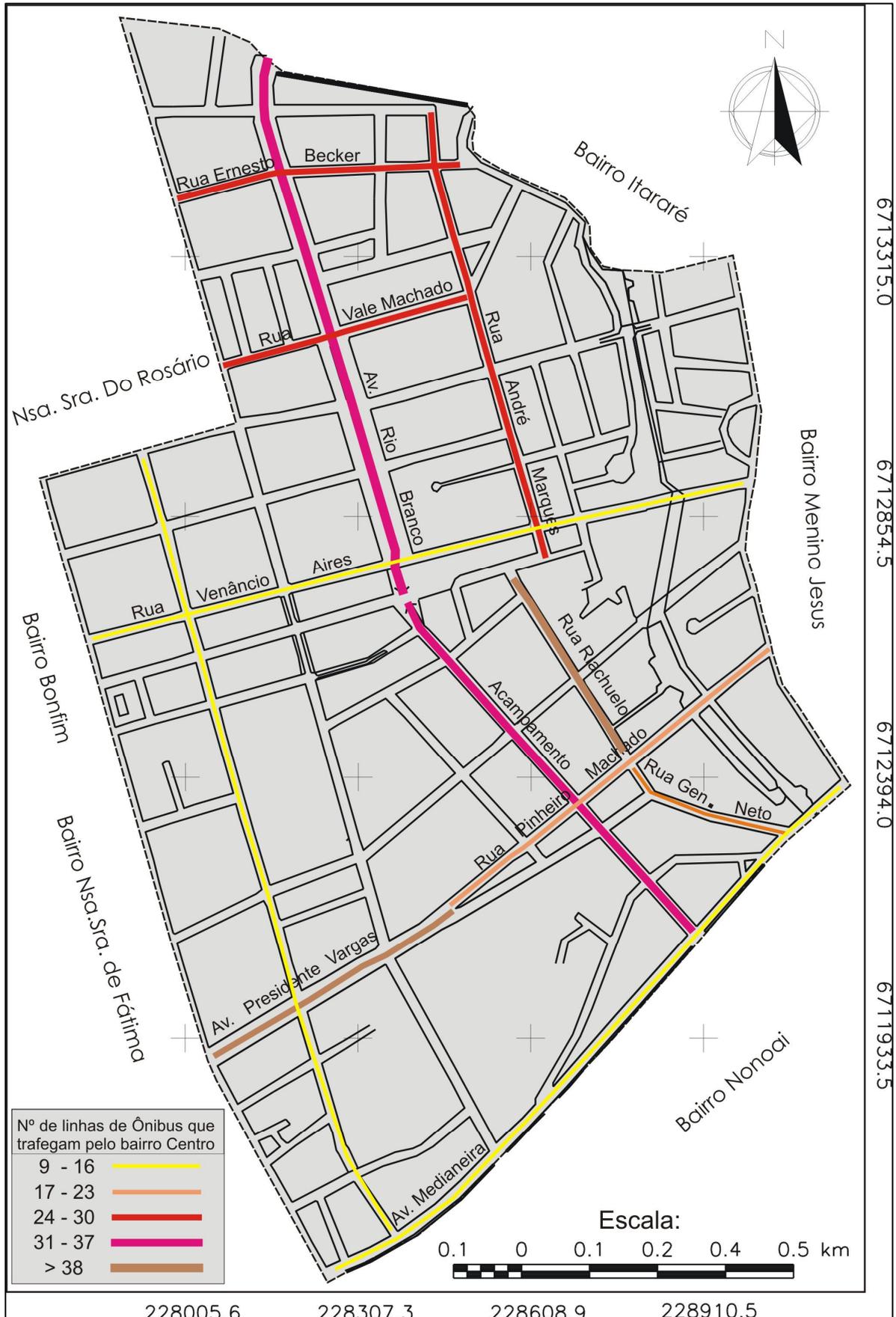


FIGURA 18 – Mapa dos principais fluxos de ônibus no bairro Centro de Santa Maria/RS.
 Fonte – Base cartográfica cedida pelo INPE, referente a imagem IKONOS na escala 1:10000 do ano de 2005.

A não utilização de uma classe intermediária deve-se a melhor funcionalidade utilizando-se de duas classes quando da interpolação no momento do cruzamento entre as variáveis.

Por fim, para a variável direção do arruamento, utilizou-se somente de duas direções, sendo as ruas com direção predominante (N-S) e ruas com direção predominante (L-O). Salienta-se que foi utilizada como variável a direção predominante da rua, devido à relação que o sentido do arruamento possui tanto para a canalização dos ventos, como também atuando na forma de barrar a velocidade destes, o que vem a interferir na deposição ou dispersão dos poluentes.

Neste sentido, segundo SARTORI (1979) o fato de as ruas da malha urbana de Santa Maria estarem dispostas no sentido ENE-WSW e SSE-NNW favorece a ventilação natural, com canalização dos ventos predominantes de leste e sudeste, associado ao domínio das massas polares (MPA), bem como ventos quentes de N e NW ou mais frios de S e SE. SARTORI (1993) afirma ainda que os ventos mais intensos são os de norte e nordeste das fases pré-frontais.

Baseado nesta relação entre ventos e direção do arruamento, infere-se como variável de menor predisposição ao acúmulo das deposições de material particulado as ruas e avenidas que possuem arruamento no sentido leste-oeste, uma vez que conforme enfatizado anteriormente é essa a direção predominante dos ventos da cidade, e por consequência, o sentido que favorece a maior dispersão do material particulado.

4.2.1 Cruzamento entre as variáveis em análise:

Foram estabelecidas como ruas e avenidas do bairro Centro para esta análise as 8 ruas selecionadas como locais das coletas, e também as ruas Venâncio Aires, Riachuelo e General Neto por apresentarem expressivos fluxos de linhas de ônibus e sendo, conseqüentemente, propícias ao acúmulo de material particulado.

Para o cruzamento entre as variáveis, buscando o estabelecimento de locais de alto, baixo e médio potencial à deposição de material particulado, utilizou-se de matrizes (FIGURA 20), onde foram cruzadas as variáveis selecionadas de acordo com a maior, menor ou média predisposição à deposição de particulados. Sendo assim, definiu-se como legenda para alto potencial a letra "A", para médio a letra "M" e para baixo a letra "B". A partir dos resultados dos cruzamentos, elaborou-se um

mapa de zoneamento ambiental (FIGURA 21) quanto ao potencial de deposição de material particulado.



FIGURA 19 – Mapa contendo a espacialização das variáveis utilizadas na elaboração do zoneamento ambiental.

Fonte - Base cartográfica cedida pelo INPE, referente a imagem IKONOS na escala 1:10000 do ano de 2005.

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua André Marques.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg./Flux.	Alto	baixo
N-S	x	A	N-S	A	x	com	x	x
L-O	x	x	L-O	x	x	sem	x	M

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua Vale Machado.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg./Flux.	Alto	baixo
N-S	x	x	N-S	x	x	com	x	x
L-O	x	A	L-O	x	B	sem	x	A

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Avenida Rio Branco.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg./Flux.	Alto	baixo
N-S	M	x	N-S	A	x	com	M	x
L-O	x	x	L-O	x	x	sem	x	x

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua Pinheiro Machado.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg./Flux.	Alto	baixo
N-S	x	x	N-S	x	x	com	x	x
L-O	x	M	L-O	x	B	sem	x	M

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua do Acampamento.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg./Flux.	Alto	baixo
N-S	x	A	N-S	A	x	com	x	x
L-O	x	x	L-O	x	x	sem	A	x

FIGURA 20 – Quadro com as matrizes de cruzamento das variáveis ambientais para a definição do potencial de deposição de mp.

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua Valandro.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg../Flux.	Alto	baixo
N-S	x	A	N-S	x	M	com	x	x
L-O	x	x	L-O	x	x	sem	x	M

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Avenida Presidente Vargas.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg../Flux.	Alto	baixo
N-S	x	x	N-S	x	x	com	M	x
L-O	B	x	L-O	M	x	sem	x	x

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Avenida Medianeira.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg../Flux.	Alto	baixo
N-S	x	x	N-S	x	x	com	x	B
L-O	B	x	L-O	x	B	sem	x	x

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua Venâncio Aires.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg../Flux.	Alto	baixo
N-S	x	x	N-S	x	x	com	x	x
L-O	x	M	L-O	x	B	sem	x	M

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua Riachuelo.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg../Flux.	Alto	baixo
N-S	x	A	N-S	A	x	com	x	x
L-O	x	x	L-O	x	x	sem	A	x

Cruzamentos entre as variáveis que caracterizam a Rua General Neto.

Ori./Veg	com	sem	Ori./Flux.	Alto	baixo	Veg../Flux.	Alto	baixo
N-S	x	A	N-S	A	x	com	x	x
L-O	x	x	L-O	x	x	sem	A	x

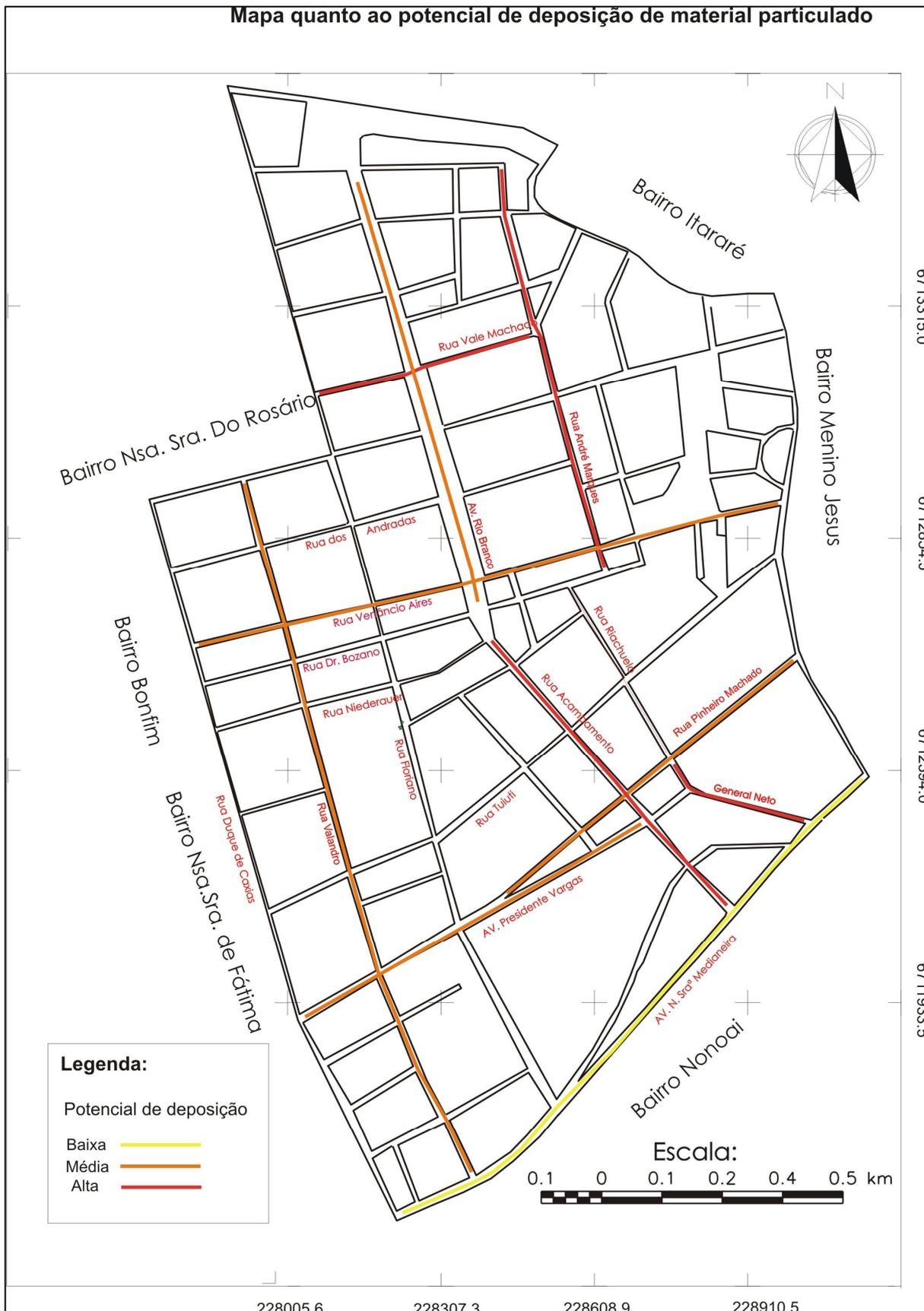


FIGURA 21- Mapa de zoneamento ambiental quanto a deposição de material particulado.
 Fonte: Fonte - Base cartográfica cedida pelo INPE, referente a imagem IKONOS na escala 1:10000 do ano de 2005.

4.3 Análise dos dados absolutos referente aos valores das concentrações verificados nas ruas e avenidas do bairro Centro.

Para que se pudesse buscar uma variação temporal das concentrações de material particulado, foram realizadas coletas nos nove pontos determinados, em diversos períodos do ano de do ano de 2008, sendo a primeira coleta realizada no mês de novembro do ano de 2007 e a última no mês de junho de 2008. Neste período foi possível a realização de 13 coletas, não existindo um padrão de número de coletas por estação do ano, uma vez que o número de coletas possíveis de serem realizadas foram dependentes de condições meteorológicas favoráveis.

A análise dos dados obtidos nas coletas serão apresentados em três níveis neste capítulo. O primeiro analisará as correlações existentes entre todos os pontos de coleta, bem como os dados absolutos. Num segundo nível serão analisadas as respostas de cada rua e avenida do bairro ao longo da realização da pesquisa, buscando verificar a existência de algum período do ano de maior ou menor potencial de acumulação de particulados. No terceiro nível de análise, buscar-se-á verificar a influência dos fatores geocológicos e geourbanos, das ruas e avenidas utilizadas como pontos de coleta, como condição para as diferentes concentrações de particulados no bairro Centro de Santa Maria.

A partir dos valores das concentrações encontradas, realizou-se o cálculo da média para todas as unidades de coleta, como se pode visualizar no gráfico (Figura 22). A partir disto, foi possível verificar que a Rua André Marques obteve os maiores valores de poeiras, seguido da Avenida Medianeira, Avenida Rio Branco, Rua Valandro e Acampamento, respectivamente.

Quando realizada a comparação entre os valores das concentrações obtidas nas ruas e avenidas verifica-se que os maiores valores de poeiras foram obtidos em uma rua de médio fluxo de ônibus (24 a 30 linhas de ônibus), com presença praticamente inexpressiva de arborização.

Na análise dos valores das concentrações da Rua André Marques ao longo dos episódios de coleta, pode-se verificar 4 coletas que apresentaram valores que se destacaram com altas concentrações. São as coletas realizadas no mês de novembro de 2007, do dia 14 até o dia 17, fevereiro de 2008 e as duas coletas do mês de abril de 2008. Os resultados do cálculo da média entre todas as coletas podem ser visualizados na TABELA 1.

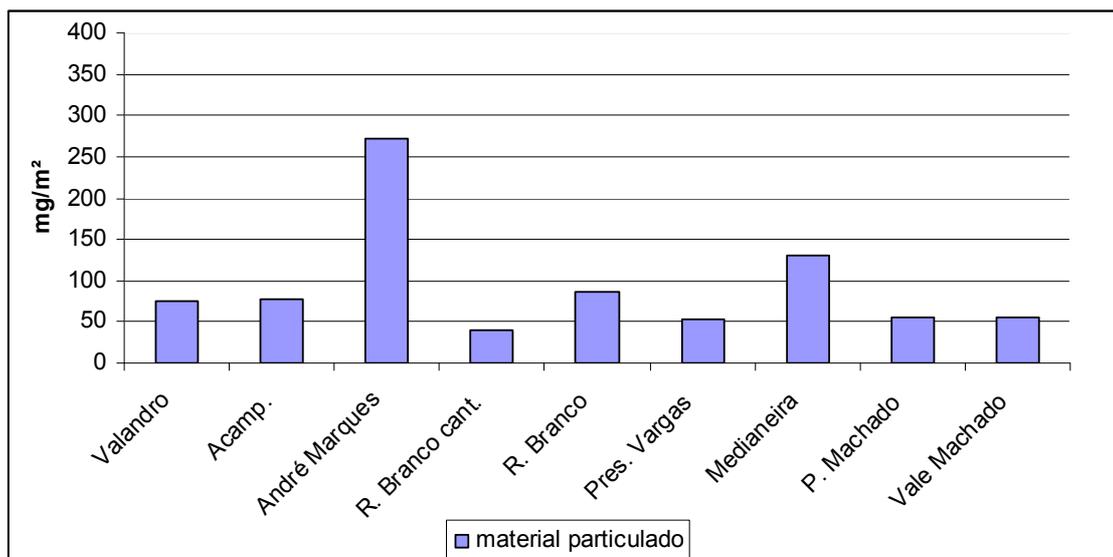


FIGURA 22 – Valores médios para as concentrações de material particulado ao longo de todos os episódios coletas.

Através do mapa de interpolação de isolinhas pode-se verificar espacialmente as concentrações de material particulado de acordo com a localização dos pontos de coleta (FIGURA 23).

Na busca de uma possível relação entre as altas concentrações de poeiras coletadas e as estações do ano, infere-se que a partir dos resultados não ficou evidenciada nenhuma relação significativa. Neste sentido, quando da análise destes dados, utilizando este tipo de método de coleta, acredita-se que a quantidade de partículas emitidas pelos veículos automotores, bem como a própria poeira ressuspensa pelos ônibus e carros, possui maior influência nas concentrações encontradas nas plaquetas do que propriamente as características dos tipos de tempo diferenciadas. Obviamente que quanto maior o período sem chuvas, maior a quantidade de poeiras que se acumulam nas ruas e podem ser ressuspensas.

Todavia, os dias que foram utilizados nas coletas foram preferencialmente os que se seguiram à entrada de uma Frente, acompanhada de suas precipitações, para então ser instalado o equipamento, com o intuito de se obter no mínimo três dias de estabilidade atmosférica para a realização das coletas. Além disso, o curto período de tempo em que foi possível realizar as coletas a campo, dificulta estabelecer uma avaliação mais profunda neste sentido.

Local mg/dia	Nov.07	Nov.07	Dez.07	Dez.07	Jan.08	Fev.08	Mar.08	Mar.08	Abr.08	Abr.08	Mai.08	Mai.08	Jun.08
Valandro	110	50	20	120	80	80	70	20	80	130	80	90	60
Acamp.	110	50	60	50	50	20	10	100	100	170	110	110	70
André Marques	380	220	140	60	100	400	280	70	420	600	300	340	210
R. Branco cant.	60	40	70	30	40	10	10	30	60	60	30	50	40
R. Branco	70	80	160	80	100	90	30	90	160	100	60	70	40
Pres. Vargas	40	70	60	40	20	10	10	110	10	110	90	70	60
Medianeira	100	140	130	70	40	100	120	110	180	210	160	190	150
P. Machado	170	40	120	30	30	20	20	40	70	40	30	50	40
Vale Machado	70	60	70	30	20	70	60	50	60	80	50	60	30



Ruas de sentido Norte-Sul.



Ruas de sentido leste-oeste.

Local de coleta com pouca ou sem presença de arborização.



Rua ou avenida com presença de arborização.

TABELA 1 - Valores obtidos na realização das coletas a campo (mg/m²/dia).

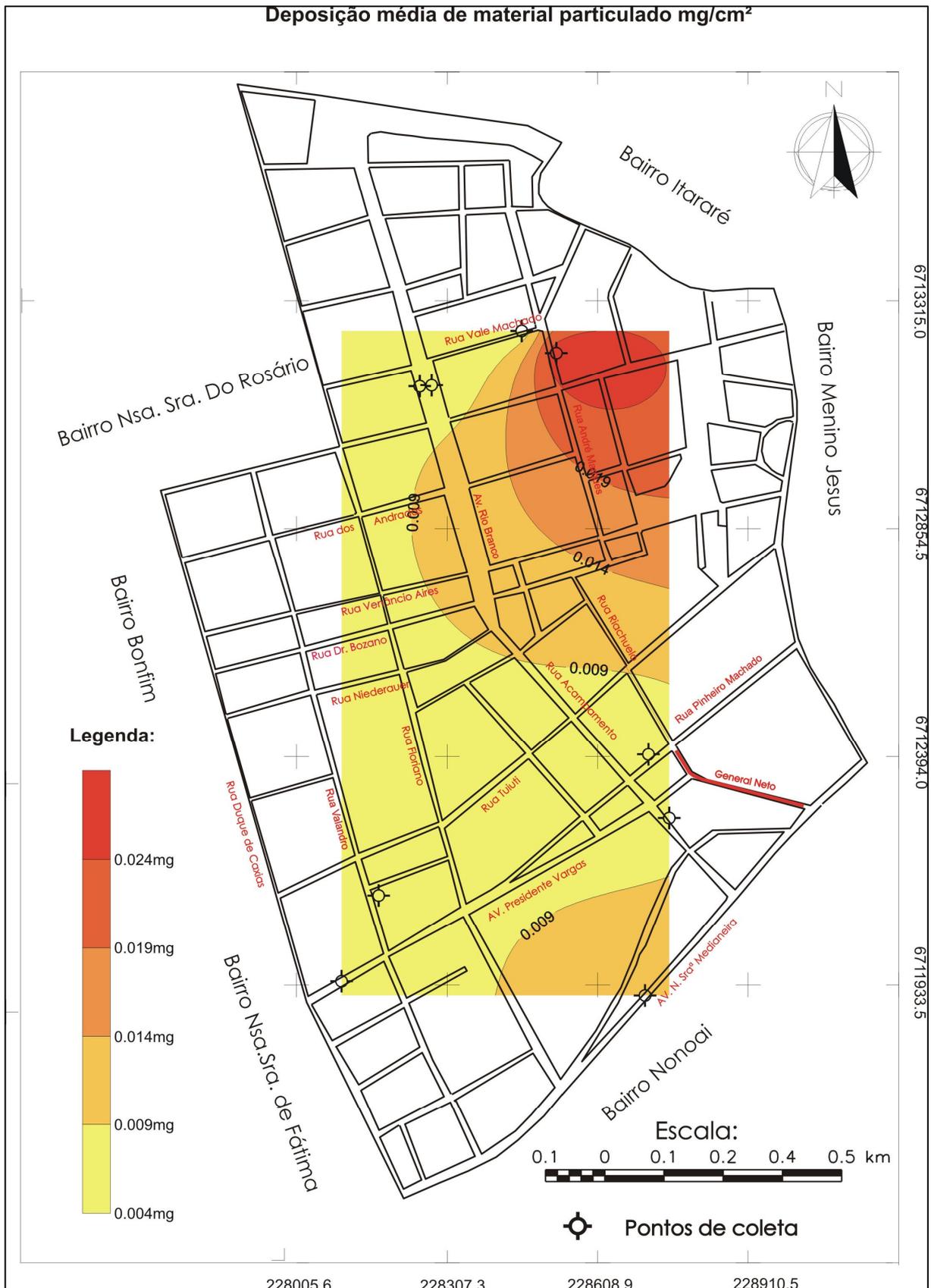


FIGURA 23 – Deposição média de material particulado nas ruas e avenidas utilizadas como ponto de coleta no bairro Centro em (mg/cm²/dia).
 Fonte: Fonte - Base cartográfica cedida pelo INPE, referente a imagem IKONOS na escala 1:10000 do ano de 2005.

Deve-se levar em consideração, também, a imprecisão dos instrumentos utilizados, os quais acabam sendo mais eficientes apenas para as partículas mais grosseiras, que se depositam. Já as partículas mais finas, acabam respondendo de forma eficiente em aparelhos eletrônicos, estes sim conseguindo medir as concentrações dos particulados em suspensão ($mp < 10 \mu g/m^3$). É de supor que a influência das estações do ano esteja vinculada mais a este tipo de material fino, que fica suspenso, e que sofre grande influência dos fatores atmosféricos, possuindo geralmente grande correlação com condições de grande estabilidade atmosférica (mais nos dias de inverno) e também inversões térmicas.

Em segundo lugar quanto às concentrações absolutas dos períodos de coleta, tem-se a Avenida Medianeira, destacando-se as concentrações obtidas nos meses de abril, tanto para a coleta do dia 05 ao dia 08, quanto para a realizada do dia 16 ao dia 19, e para a segunda coleta realizada no mês de maio, do dia 13 ao dia 15 (ver FIGURA 22).

Os locais de coleta que se destacaram como de maiores concentrações de poeiras, Rua André Marques, Avenida Medianeira, Avenida Rio Branco, Rua Serafim Valandro e Acampamento possuem diversas características diferentes entre elas.

Como resposta para a Rua André Marques ser o ponto de coleta dos maiores valores de material particulado, possuindo concentrações bem acima dos demais, pode-se dizer que o asfalto da Rua André Marques conta com a presença mais significativa de terra e poeira na sua rua, fazendo com que a quantidade de poeiras ressuspensas neste local seja maior. Como explicação para isto, pode-se dizer que o vento que é canalizado na Rua André Marques, suspende uma grande quantidade de poeiras que, por gravidade, ficavam depositadas na parte “baixa” da rua. Sendo assim, o vento faz com que uma grande parte dessa poeira seja depositada em locais onde a sua energia cinética tende a diminuir, ou seja, na parte alta da rua, coincidindo com a região onde ficou instalada a plaqueta de coleta. Esse fato pode ser justificado quando analisado o perfil topográfico desta rua (FIGURA 24).

A Avenida Medianeira possui uma realidade bem diferenciada quanto as variáveis analisadas, tais como presença de arborização, menor número de linhas de ônibus, maior verticalidade dos edifícios, embora o local de coleta não esteja

localizado entre prédios altos, funcionando como um receptor de poeiras de diversas direções.

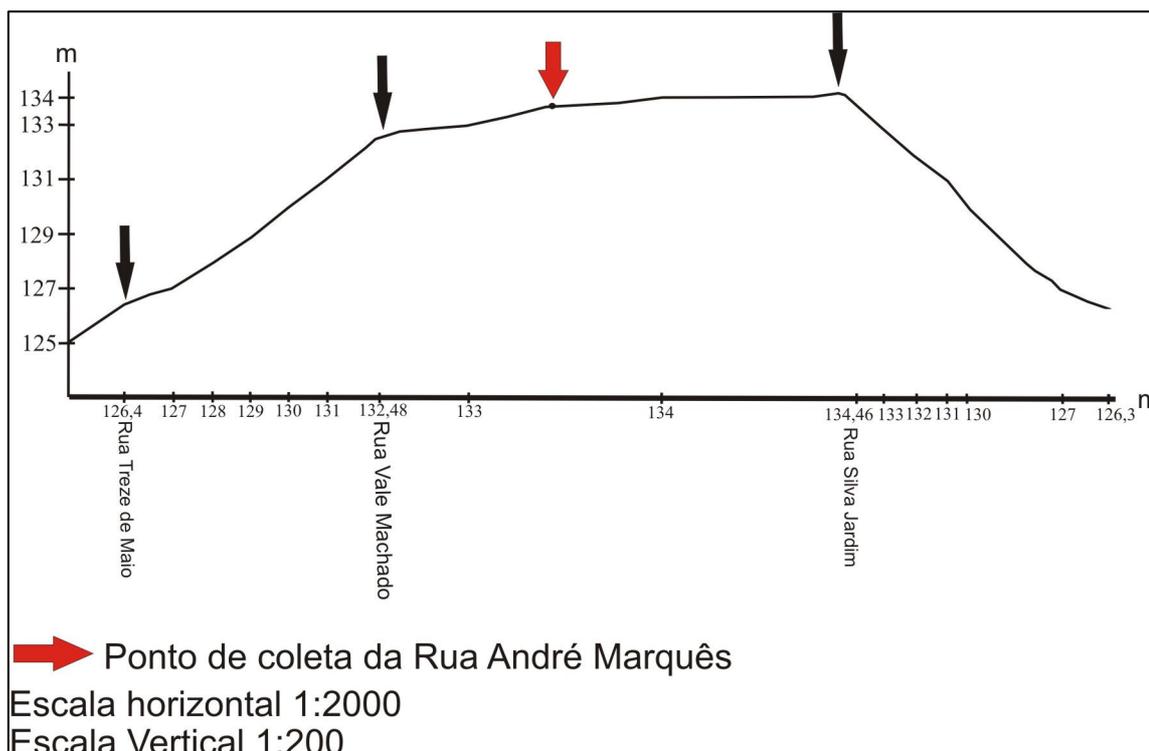


FIGURA 24 – Perfil topográfico em parte da Rua André Marquês.

Fonte: Plantas cadastrais na escala 1:2000 do ano de 1966.

Embora essas diferenças, quando analisado o perfil topográfico da Avenida Medianeira, podemos observar uma realidade bastante parecida com o que ocorre na Rua André Marques, onde as grandes concentrações de poeiras podem ser consequência da deposição de poeiras na parte mais alta da Avenida. Como consequência, o que é trazido para cima, devido à influência dos ventos que são canalizados nesta Avenida, faz com que grandes quantidades de poeiras fiquem depositadas na sua parte alta, fato este causado devido a diminuição da energia cinética. Salienta-se que esta região coincide com o local escolhido para a instalação da plaqueta de coleta de material particulado. A visualização do perfil topográfico da Avenida Medianeira (FIGURA 25) confirma essa premissa.

De uma forma geral, verificou-se que os locais de maiores índices de poeiras possuem orientação (N-S), como os exemplos das ruas André Marques, Valandro, Acampamento e Rio Branco, com exceção da Avenida Medianeira. Uma das possíveis explicações para isto decorre de que os eixos viários selecionados na pesquisa possuem, conforme a limitação do bairro, maior extensão no sentido norte-sul do que leste-oeste. Isso permite que o vento, mesmo não sendo a direção norte-

sul como predominante a nível regional, acabe assumindo maiores velocidades no sentido N-S e assim ressuspensando mais poeiras do que no outro sentido.

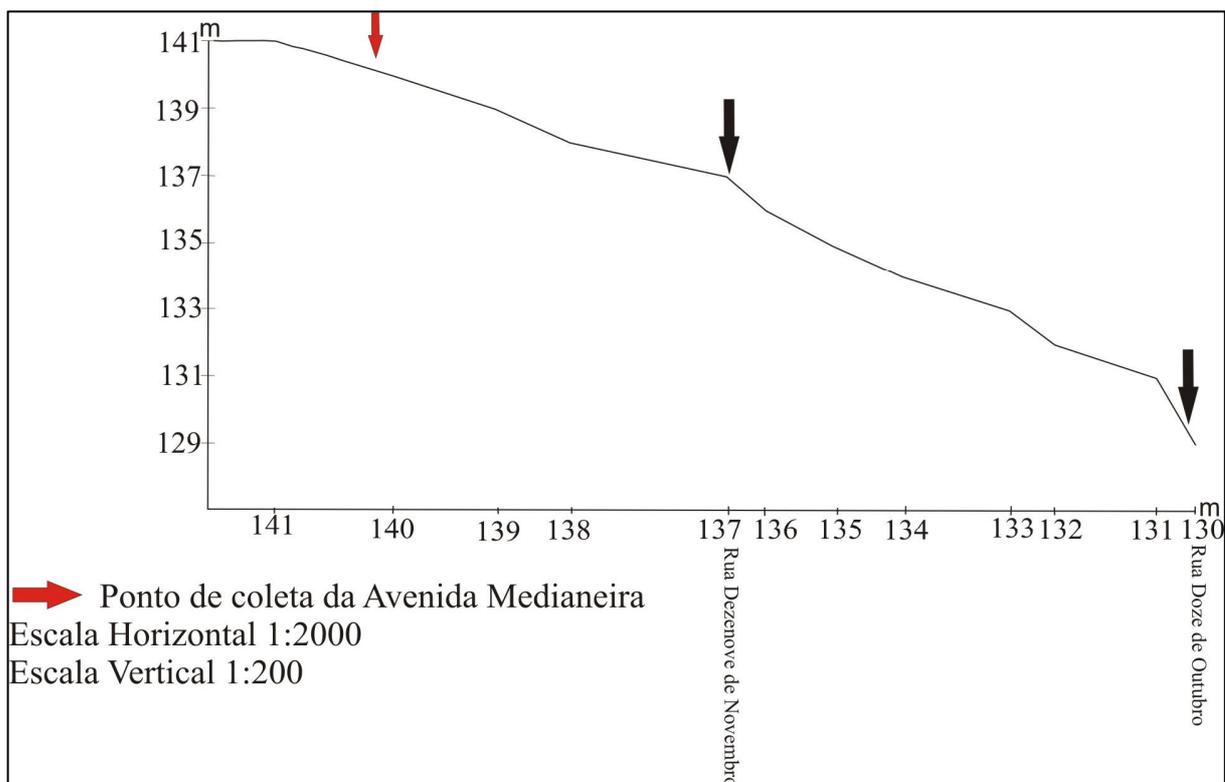


FIGURA 25 – Perfil topográfico em parte da Avenida Medianeira.
Fonte: Plantas cadastrais na escala 1:2000 do ano de 1966.

A direção predominante E só assume realmente uma maior importância nas áreas periféricas da cidade ou então nas partes mais altas dos edifícios. Porém, no nível do chão, o comprimento da rua, associado à capacidade de aceleração do vento, faz com que uma maior quantidade de poeiras seja ressuspensa no sentido N-S.

A medição da velocidade dos ventos em cada um dos locais de coleta não fez parte dos objetivos da pesquisa, fazendo com que a busca da resposta da influência desta variável nas concentrações de material particulado, sem esse tipo de dado, resultasse deficiente. Sendo assim, a nossa análise foi feita de acordo com os ventos predominantes na cidade, considerando desta forma, como de maior potencial a dispersão de particulados as ruas de sentido Leste-Oeste.

Quanto ao papel exercido pela vegetação, no sentido de atenuação das poeiras e dos materiais particulados emitidos por veículos e outras fontes, constatou-se uma relação entre as menores concentrações de poeiras depositadas e a presença de arborização. Este fato pode ser verificado quando se utiliza de exemplo o local que apresentou os menores valores de material particulado, no caso a

plaqueta situada no canteiro Central da Avenida Rio Branco, próximo a árvores de grande porte.

A Rua Vale Machado obteve concentrações de particulados muito baixas, quando comparado as demais ruas, acima apenas da plaqueta localizada no canteiro Central da Avenida Rio Branco, cujos resultados serão discutidos a seguir. Ressalta-se que a menor quantidade de linhas de ônibus que trafegam pela rua, bem como a menor capacidade de transporte de partículas, fazem com que as poeiras que poderiam ser transportadas pelos ventos advindos do quadrante norte e sul, e depositadas nesta rua, sejam depositados em ruas de eixo Norte-Sul.

Quanto à Avenida Rio Branco, o fator vegetação apresenta-se como uma variável de grande influência na menor presença de concentração de material particulado. Por estar esta plaqueta de coleta no canteiro central da avenida, com um número significativo de elementos arbóreos próximos, infere-se que somado isso ao fator distância da calçada, e conseqüente menor exposição às fumaças emitidas pelos ônibus, esta plaqueta recebeu quantidades pequenas de partículas de poeiras, se comparada ao outro ponto de coleta desta avenida que, mais distante das árvores, e com maior proximidade da calçada, apresenta concentrações duas vezes maiores.

Salienta-se também, para o caso da Avenida Rio Branco, principalmente quando utiliza-se de argumento para as altas concentrações de poeiras para a Rua André Marques, e também para a Avenida Medianeira a influência do fator topografia, que devido a plaqueta da Avenida Rio Branco estar localizada na parte baixa os índices coletados podem ter sido mais baixos do que o que se poderia encontrar na parte alta desta avenida, ou seja, a partir do cruzamento com a Rua Venâncio Aires em direção a Rua do Acampamento. A visualização do perfil topográfico desta região pode elucidar este fato (FIGURA 26).

Novamente sob a perspectiva de influência da variável vegetação, e desta vez utilizando como local de análise a Avenida Medianeira (uma vez que esta representa um local de coleta “com presença de vegetação”), nota-se que apesar da estrutura vegetal, ela apresentou altas concentrações de material particulado.

A explicação para isto decorre de alguns fatores, como por exemplo, o fato de a Avenida Medianeira contar, no seu conjunto, com a presença árvores em suas calçadas, na quadra que se fez a coleta observa-se pouca presença de arborização

no canteiro central e inexistência de árvores nas calçadas (coincidindo com a área de poucas edificações e próximo ao local de coleta).

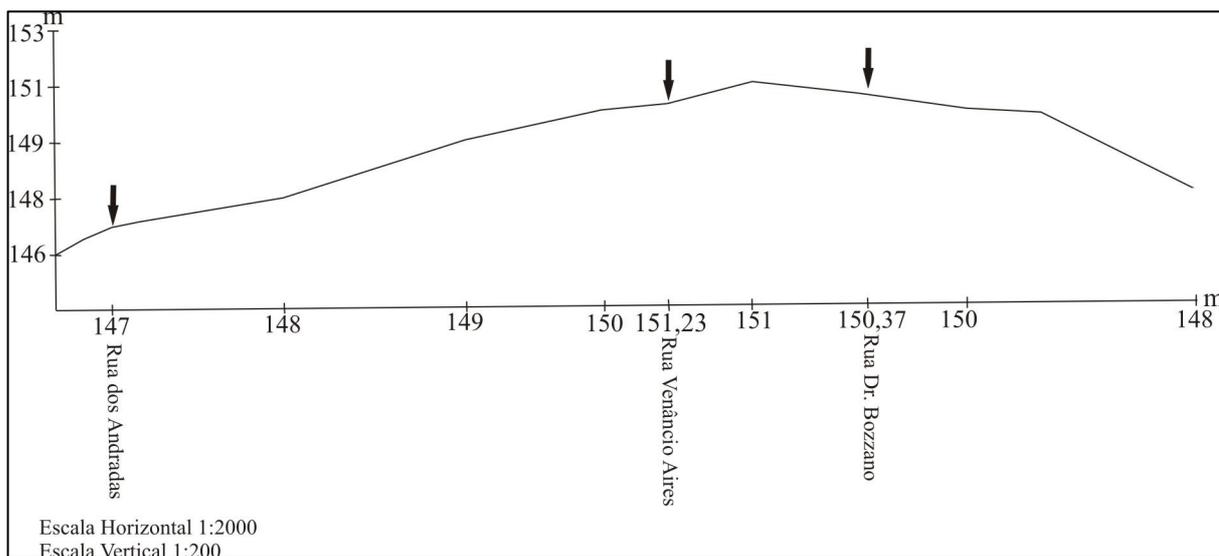


FIGURA 26 – Perfil topográfico de parte da Avenida Rio Branco.

Fonte: Plantas cadastrais na escala 1:2000 do ano de 1966.

Sendo assim, é possível que nesta região da avenida, em que pese o fato da grande quantidade de vegetação existente no restante da avenida, embora seu fluxo de ônibus não seja alto, as altas concentrações de MP podem estar ligadas ao intenso tráfego de veículos leves, fazendo com que grande parte do que é emitido não consiga ser atenuado pela vegetação, depositando sob a plaqueta e, conseqüentemente, incidindo diretamente nas pessoas que trafegam nas suas calçadas.

Soma-se a isso, a poeira que é emitida e ressuspensa pelos veículos e pelo vento, e que se encontra a alguns metros da plaqueta de coleta, acaba por depositar-se na fita adesiva por não contar com praticamente nenhuma barreira.

Salienta-se que não se atribui somente à presença de árvores próximas aos locais de coleta ao atendimento de um dos serviços ambientais da vegetação, que é o de atenuar os poluentes. Sabe-se que todo elemento arbóreo presente em áreas urbanas está cumprindo seu papel dentro de um sistema maior, e que a soma disso aliado a outros fatores geocológicos é que vai influenciar de maneira significativa na melhoria da qualidade do ar nas cidades. Todavia, como verificado neste caso, a presença de barreiras vegetais próximas às calçadas podem atenuar grande parte das poeiras que irão se depositar diretamente nas pessoas e casas ali localizadas. Essas partículas prejudicam a qualidade de vida das pessoas por depositarem-se

sobre os materiais expostos deteriorando-os e fazendo com que esses, com o passar do tempo, vão adquirindo uma cor acinzentada.

Ainda, buscando-se respostas para as diferentes concentrações de material particulado, e tomando como variável de análise o fator vegetação, a partir dos resultados evidenciados para a Rua Pinheiro Machado, rua tida como “sem presença de vegetação”, constatou-se que as concentrações de poeiras depositadas foram baixas em comparação com grande parte dos pontos de coleta. Como justificativa utilizada para isto, pode-se dizer que embora não possuindo elementos arbóreos em suas calçadas, não conta com grande fluxo de veículos (em comparação a outros pontos de coleta) e com média presença de linhas de ônibus urbanos que trafegam por ali, fazendo com que esta rua não possua grandes fontes de partículas, bem como pouca presença de poeira ressuspensa pelos veículos.

As concentrações obtidas para a Rua do Acampamento são tidas como baixas quando comparadas a outros pontos de coleta, a exemplo a Rua Serafim Valandro, uma vez que a realidade quanto às poeiras depositadas na plaqueta localizada nesta rua poderia apresentar maiores concentrações de particulados devido as suas variáveis geourbanas e geoecológicas já mencionadas.

Dentre os fatores que podem estar agindo para que a Rua do Acampamento não conte com as máximas concentrações de particulados está o fator altitude, uma vez que este ponto de coleta encontra-se no ponto mais elevado do sítio urbano da cidade, fazendo com que seja necessário uma boa quantidade de ventos para trazer as partículas de áreas que se encontram em altitudes menores. Salienta-se, também, que, devido às dificuldades metodológicas, neste tipo de análise somente o material particulado grosseiro que se deposita pôde ser quantificado. Sendo assim, todas as partículas menores, como o material particulado inalável (com granulometria de até 10 μ g) e que é, em grande parte emitido pelos veículos automotores, somente quantificado por equipamento eletrônico, não está sendo analisado.

Analisou-se, também, as concentrações de material particulado a partir da influência do número de linhas de ônibus que trafegam nas ruas e avenidas do bairro Centro, uma vez que os ônibus são os principais responsáveis pela emissão de poluentes dentre os veículos automotores, principalmente pelo tipo de combustível que usam e até pela quantidade de “arrancadas” que são feitas devido às próprias paradas para a subida e descida dos passageiros.

A avenida de maior tráfego de ônibus (Rio Branco) não representou o local de maiores concentrações de material coletado, fato este que pode ser explicado por fatores anteriormente descritos, tais como a presença de vegetação, principalmente para a plaqueta de coleta situada no canteiro central. No caso da plaqueta localizada próxima a calçada, embora ficando na terceira posição quanto às maiores concentrações de poeiras, este valor poderia ter sido ainda maior se não tivesse esta avenida a presença de um corredor central de grandes elementos arbóreos, que fazem com que grande parte das poeiras que encontram-se em circulação neste local fiquem retidas nas folhas. A maior concentração de particulados na plaqueta próxima da calçada possivelmente se deve a menor proximidade com a vegetação e maior proximidade das fumaças emitidas pelos escapamentos dos ônibus que ali circulam.

Em segundo lugar quanto ao tráfego de ônibus das ruas e avenidas que foram pesquisadas, está a Rua do Acampamento, que também não apresentou as maiores concentrações de poeiras, sendo que os motivos que podem ter sido responsáveis por isso, já foram descritos anteriormente.

Ressalta-se que duas ruas (Pinheiro Machado e Vale Machado) e também a Avenida Presidente Vargas, todas caracterizadas de médio fluxo quanto ao número de linhas de ônibus (24-30) tiveram comportamento parecido quanto às concentrações totais de material particulado. As razões para as duas primeiras ruas quanto às menores concentrações já foram descritas anteriormente. Para o caso da Avenida Presidente Vargas, que além desse médio fluxo de ônibus conta também com elevado tráfego de automóveis, as concentrações podem ter ficado distante das mais altas devido a presença de vegetação no canteiro central desta avenida.

No caso da Rua André Marques, que obteve as maiores concentrações de particulados, verifica-se que esta também possui um médio fluxo de linhas de ônibus (24-30), sendo que os demais fatores que ajudam a explicar as altas concentrações de poeiras para este ponto de coleta já foram citados anteriormente.

4.4 Comparação das concentrações de material particulado através da análise de correlação

Nesta análise buscou-se realizar a comparação entre pontos de coleta distintos quanto à variabilidade dos resultados na série histórica de coleta. Procurou-se, dessa forma, verificar pontos de coleta que obtiveram comportamento parecido quanto às variações ao longo da série de dados, e os possíveis motivos que causaram esta semelhança.

Na comparação entre os resultados de duas vias de alto fluxo de veículos, com mesma direção de arruamento (N-S), uma com presença de vegetação (Rio Branco, canteiro) e outra sem presença de vegetação (Acampamento), verificou-se um índice de correlação de 0,66, o que indica um comportamento parecido quanto às variações das concentrações de material particulado ao longo da série de coleta. Em geral, as concentrações de material particulado verificadas para a Rua do Acampamento são mais altas do que as encontradas no canteiro central da Avenida Rio Branco. Este fato pode ser explicado pela presença de árvores de porte médio e grande que estão localizadas no canteiro central desta avenida, servindo de barreira para que parte dos particulados emitidos pelos carros, ou mesmo ressuspensos pelo vento, fiquem retidos em suas copas. Salienta-se que os sistemas urbanos dessas ruas possuem grande similaridade, uma vez que a direção do arruamento é o mesmo, sendo a Rua do Acampamento uma seqüência da Avenida Rio Branco, fluxo de ônibus parecido e, apenas, com alguma diferença altimétrica.

Quando calculada a correlação entre os dados da Rua do Acampamento e a Avenida Presidente Vargas, esta última de sentido (L-O), com menor presença de vegetação no canteiro central na comparação com a Avenida Rio Branco, intenso fluxo de veículos e altitudes também próximas, verifica-se um índice de correlação de 0,81.

Destaca-se que, como na grande maioria dos dias em que as coletas ultrapassaram as médias de material particulado calculado para a cidade de Santa Maria, não foi verificada a presença de ventos significativos. Dessa forma, as condições geourbanas (tráfego e densidade de construções) acabaram preponderando sobre as condições geoecológicas na produção dos resultados. Neste sentido, embora possuindo arruamento de sentido diferenciado, a não presença significativa dos ventos nestes pontos de coleta faz com que o fator fluxo

de ventos não exerça grande influência. Pode-se dizer que uma das explicações para esse alto valor de correlação, entre a Rua do Acampamento e a Avenida Presidente Vargas, deve-se ao fluxo de veículos e ônibus parecidos e elevados nestes dois locais. Este fato fica evidenciado quando realizada a comparação entre os valores absolutos das concentrações, que demonstram níveis muito próximos para a Rua do Acampamento e a Avenida Presidente Vargas.

A realidade anterior pode ser evidenciada também quando verificada a correlação existente entre a Rua do Acampamento com a Avenida Medianeira, (0,66). Embora apresentando concentrações de poluentes mais elevadas em comparação a Rua do Acampamento na grande maioria das coletas, apresenta características geourbanas muito parecidas às verificadas na Avenida Presidente Vargas, com arruamento no sentido (L-O), canteiro central com presença de vegetação arbórea e, alto fluxo de veículos embora o número de linhas de ônibus seja inferior.

Na correlação existente entre as concentrações da Rua André Marques com a Rua Vale Machado (0,72), pode-se evidenciar duas realidades bem distintas. A primeira é demonstrada quando da análise dos dados absolutos de poeiras, tendo a Rua André Marques concentrações bem mais elevadas de particulados que a Rua Vale Machado. Embora essas ruas sejam perpendiculares entre si, ambas possuem falta de arborização e possuem fluxos de ônibus de intensidades semelhantes. Sendo assim, tem-se como principal fator elucidativo para o comportamento parecido quanto a variabilidade das concentrações de material particulado, a proximidade entre os pontos de coleta. Este fato faz com que reflitam de forma parecida os mecanismos que condicionam a deposição das poeiras.

Outra correlação que foi evidenciada quanto ao comportamento das concentrações de material particulado, ao longo do período de coleta, é entre os dois pontos situados na Avenida Rio Branco, com um índice de correlação de 0,62. Foi constatado que a plaqueta de coleta situada no canteiro central da avenida apresentou menores concentrações de material particulado quando comparada a placa situada próxima à calçada, situada na varanda de um prédio na altura da calçada.

Esse fato demonstra que a falta de arborização na calçada, aliado a maior proximidade com as principais fontes emissoras (não existindo dessa nenhum tipo de barreira contra os materiais emitidos, principalmente pelos canos de descarga

dos ônibus), faz com que sejam depositados maiores quantidades de particulados nesta plaqueta localizada próxima à calçada. Sendo assim, mesmo pertencendo a uma mesma avenida, e com isso possuindo as mesmas condições geoecológicas e geourbanas, esses resultados diferenciados quanto às concentrações das duas plaquetas demonstram o importante serviço de atenuação dos particulados realizado pela vegetação.

Com um comportamento parecido no que se refere às concentrações de poeiras no decorrer das coletas, verifica-se a alta correlação entre as avenidas Medianeira e Presidente Vargas, com o valor de 0,81. Ambas apresentam orientação de seu arruamento no sentido (leste-oeste), presença de vegetação de médio a grande porte no canteiro central, presença de edifícios altos, embora o ponto de coleta situado na Avenida Presidente Vargas conte com prédios de maior verticalidade em comparação ao local de coleta da Avenida Medianeira. Os dois pontos possuem intenso tráfego de veículos, embora a Avenida Presidente Vargas conte com um número mais expressivo quanto ao número de linhas de ônibus que nela trafegam.

Através da análise destes fatores, se poderia crer que as maiores concentrações de poeiras deveriam estar depositadas na Avenida Presidente Vargas, devido seu fluxo de ônibus mais intenso, já que os demais fatores geourbanos possuem semelhança, fato este que não ocorreu. Sendo assim, verifica-se que quando analisados dois sistemas de ruas bem parecidos, embora diferentes no número de linhas de ônibus, o comportamento quanto à variação das concentrações de material particulado para cada um desses sistemas, ao longo do tempo, respondeu de forma similar.

Outra correlação considerada significativa entre os valores das coletas ocorreu entre as Avenidas Rio Branco com a plaqueta localizada no canteiro central e a Avenida Presidente Vargas, obtendo-se o valor de 0,61. As duas avenidas possuem características semelhantes, tais como canteiro central com vegetação e alto fluxo de veículos, embora a Avenida Rio Branco possua uma maior quantidade de linhas de ônibus. Quando analisadas as concentrações de material particulado coletado ao longo do tempo para os dois locais, verifica-se que as concentrações são parecidas, embora a Avenida Presidente Vargas apresente valores um pouco mais altos que a plaqueta localizada no canteiro central da Avenida Rio Branco.

Uma das explicações para esta leve superioridade das concentrações da plaqueta localizada na Avenida Presidente Vargas, pode ser por consequência da maior presença de vegetação de grande porte na Avenida Rio Branco e da maior proximidade do ponto de coleta para com essas árvores, fazendo com que parte dos poluentes emitidos pelos veículos que ali trafegam sejam atenuados pela presença de vegetação. Esses fatores podem ser comprovados quando comparadas às concentrações da Avenida Presidente Vargas com a Avenida Rio Branco com a plaqueta localizada próxima a calçada, onde não se conta com a presença de árvores e os valores obtidos nas concentrações são consideravelmente maiores do que os da plaqueta localizada no canteiro central desta avenida e também superiores às concentrações da Avenida Presidente Vargas (FIGURA 27). Neste sentido fica evidenciada a relação entre a maior quantidade de vegetação, e a menor quantidade de poeira depositada.

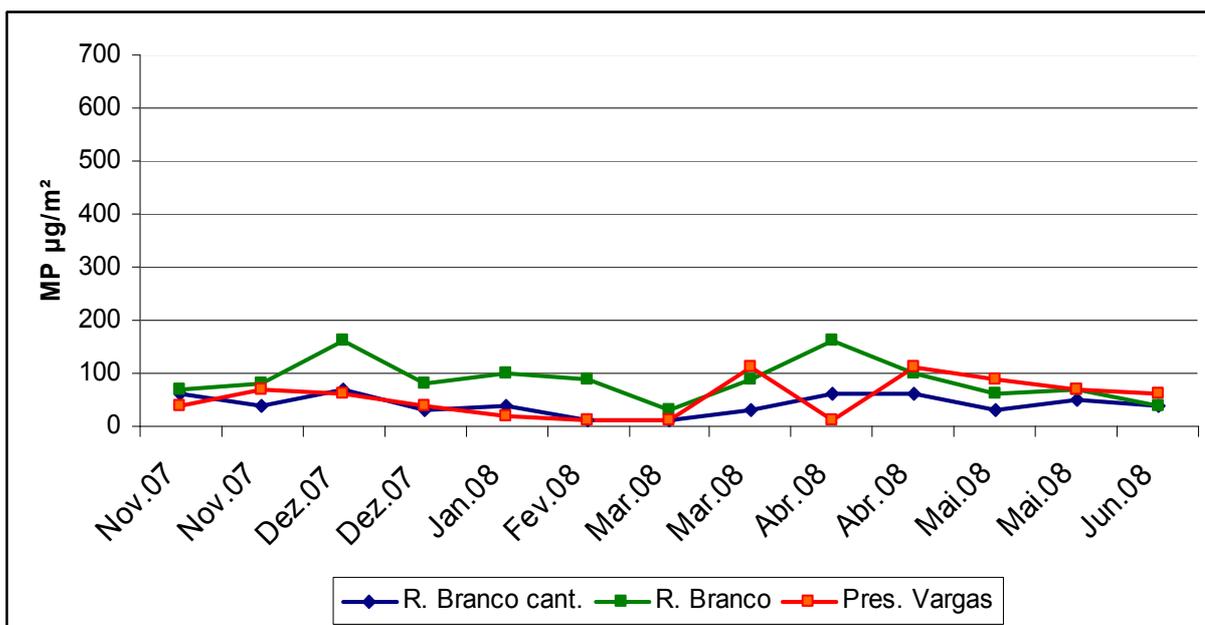


FIGURA 27 – Gráfico referente às concentrações de poeiras ao longo dos episódios de coleta.

Como última correlação significativa evidenciada entre as concentrações de material particulado ao longo de todos os episódios de coleta, verifica-se o índice de correlação de 0,66 entre a Avenida Medianeira e a Rua André Marques. Esses dois locais de coleta caracterizam-se por apresentarem características distintas entre eles, como orientação do arruamento diferenciada (L-O e N-S, respectivamente), possuindo a Avenida Medianeira ruas mais largas e maior verticalização dos

prédios, e contando, ainda, com presença de vegetação bem mais significativa e fluxo de ônibus menos intenso na comparação com a Rua André Marques.

Quando analisados os dados absolutos das concentrações de poeiras para estes dois pontos, constatou-se que foram estes os locais que obtiveram os maiores valores de material particulado dentre os nove pontos selecionadas para realização das coletas, sobressaindo-se os valores da Rua André Marques. Os motivos pelos quais se atribui os valores absolutos de poeiras serem maiores na Rua André Marques, podem ser explicados pelas diferenças das variáveis destes dois sistemas já mencionadas, ou seja, as diferenças de fluxo de ônibus e a presença de vegetação. Neste sentido, e baseado nessas realidades bem diferenciadas, uma das justificativas para essa correlação pode advir de fatores externos e que extrapolam as variáveis utilizadas na análise destes dois sistemas, tal como o ambiente de deposição gerado pela interferência dos fatores atmosféricos agindo de forma parecida nestes dois locais.

Quando analisadas as concentrações de particulados para estes dois pontos ao longo do período de coleta, pode-se verificar que a Avenida Medianeira possui concentrações mais homogêneas que o da Rua André Marques, tendo este último uma variabilidade maior quanto os resultados das concentrações (FIGURA 28). Infere-se que a presença de elementos arbóreos de grande porte presentes ao longo da Avenida Medianeira funcionam como um fator de atenuação para que mesmo na existência de diferenças com dias de maior ou menor fluxo de ônibus, bem como quanto a deposição de poeiras trazidas de outros locais da cidade, a vegetação pode estar interferindo no sentido de equilibrar os valores obtidos nas concentrações.

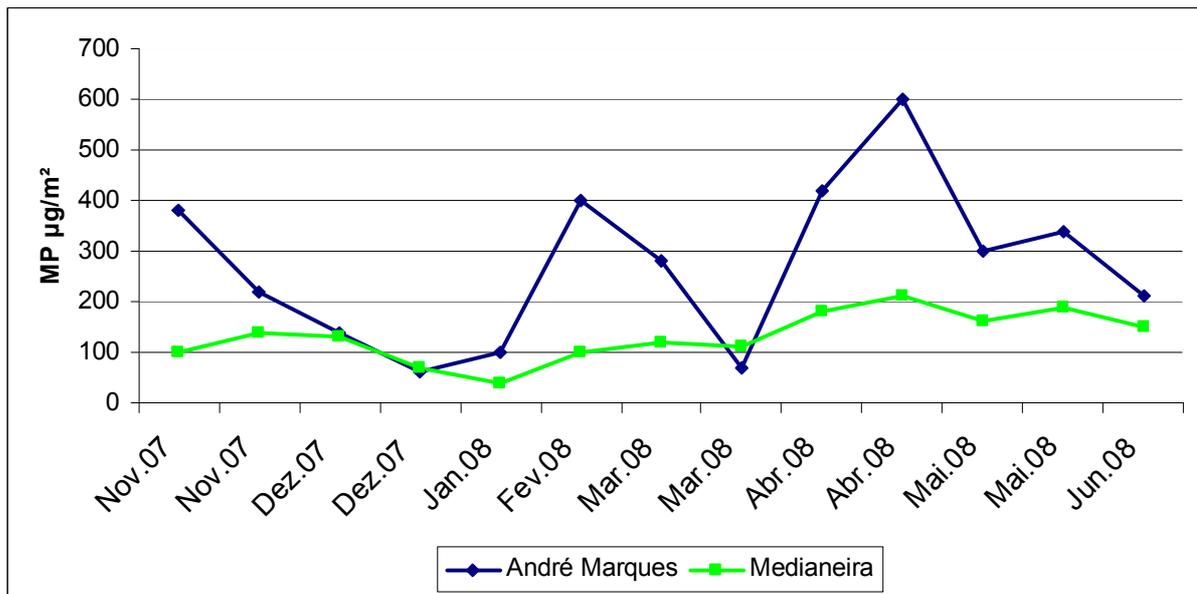


FIGURA 28 – Gráfico referente aos episódios de coleta dos locais de maiores concentrações de material particulado.

4.5 Relação entre os valores coletados a campo de material particulado e sua relação com o mapa do potencial de deposição.

Antes que se faça esta análise, é importante destacarmos o tipo de comparação que está sendo realizada, uma vez que as três classes estabelecidas quanto ao potencial de deposição no mapa não apresentam valores numéricos absolutos. Sendo assim, busca-se comparar o que de fato foi coletado com as classes estabelecidas para cada local de coleta, no mapa de zoneamento ambiental, a análise que se pode fazer é de comparação dos valores absolutos dos locais de coleta entre si, para verificar quais são as ruas ou avenidas que obtiveram menores ou maiores valores de poeiras. A partir disto é que se pode, dentro desta escala de análise, realizar a comparação com as classes obtidas quando do cruzamento entre as variáveis na elaboração do zoneamento ambiental.

A partir da realização das coletas de material particulado, verificou-se que uma rua classificada como de alto potencial para deposição de material particulado, a Rua André Marques, obteve as mais altas concentrações ao longo das coletas.

Quando analisado o único ponto de coleta na área tida como de “baixo potencial quanto à deposição de material particulado”, no caso a Avenida Medianeira, verificou-se que esta apresentou altas concentrações de particulados

quando da comparação com as demais ruas e avenidas pesquisadas, ficando somente atrás da Rua André Marques. Isto pode ser justificado pelo fato de que a vegetação presente em suas ruas não é suficiente para atenuar a grande quantidade de particulados emitidos tanto pelos veículos que ali trafegam, como também os particulados carregados pela ação do vento de outras partes da cidade, principalmente do seu eixo norte. Sendo assim, evidencia-se que seu fluxo de veículos, bem como sua estrutura de arruamento, foram fatores preponderantes quanto a grande quantidade de poeiras depositadas na plaqueta de coleta.

Quanto a Avenida Rio Branco e Presidente Vargas, tidas como de “médio potencial a deposição de material particulado” (FIGURA 29), pode-se verificar que os resultados destas avenidas responderam de forma adequada ao zoneamento, não ficando entre as mais altas concentrações tal como apontado no zoneamento ambiental, situando-se entre as coletas que obtiveram de médias a menores concentrações. Salienta-se que o ponto de coleta localizado no canteiro central da Avenida Rio Branco foi o que obteve os menores valores, embora neste caso, e já comentado anteriormente, a grande presença de vegetação no canteiro central fez com que grande parte das poeiras ficasse retido nas folhas das árvores e, conseqüentemente, não depositando na placa.

No caso da Rua Vale Machado, tida como de “alto potencial de deposição de material particulado” (FIGURA 21), verificou-se que os valores de poeiras obtidos foram baixos. Uma das explicações para estes valores é de que embora o fluxo de ônibus que trafegue em suas ruas seja médio, o seu arruamento no sentido leste-oeste, aliado a barreira criada pelos prédios contra os ventos de outras direções que não sejam desse sentido, e que poderiam trazer partículas ao local de coleta, podem ter atuado de forma que a quantidade de material depositado neste local fosse pequena.

A Rua Pinheiro Machado, tida como de “médio potencial à deposição de particulados”, averiguou-se na comparação com os demais pontos de coleta, que ela apresentou de média a baixa concentração de partículas, demonstrando que seu baixo fluxo de ônibus, aliado a direção leste-oeste do seu arruamento, podem ter atuado como fatores preponderantes a pequena concentração de poeiras. Sendo assim, e quando verificado o mapa “potencial quanto a deposição de particulados” (FIGURA 21), verifica-se que esta se enquadrou dentro da classe estabelecida neste mapa. Outra rua tida como de “médio potencial à deposição de material particulado”,

a Rua Serafim Valandro, demonstrou que suas concentrações encontraram-se de médias a altas, confirmando a tendência expressa na análise do mapa.

De maneira geral, pode-se dizer que ao analisar as concentrações obtidas ao longo dos episódios de coleta, e relacionando estes valores ao “mapa de potencial quanto à deposição de material particulado”, verificou-se que apenas em dois pontos de coleta os valores obtidos nas concentrações não foram condizentes com o que foi pré-estabelecido no zoneamento ambiental. São os casos da Rua Vale Machado e da Avenida Medianeira, já citados anteriormente.

Para os demais locais de coleta, ao analisarmos as concentrações obtidas, infere-se que as concentrações estiveram dentro ou próximo ao estipulado no zoneamento ambiental quanto à deposição de material particulado. Isto vem a evidenciar uma resposta significativa quando da escolha das variáveis na análise das diferentes concentrações de material particulado no local em estudo. Enfatiza-se que a maioria dos apresentaram concentrações, quanto aos valores coletados, que estiveram próximas com as classes estabelecidas e pré-definidas para cada local de coleta no mapa de zoneamento ambiental.

4.6 Relação entre as concentrações de material particulado e os tipos de tempo da cidade de Santa Maria.

O conhecimento do clima de uma determinada região é de fundamental importância para a realização de seu planejamento, manejo e gerenciamento de caráter sustentável.

Os processos atmosféricos associados aos grandes centros de ação determinam e afetam os estados de tempo sobre o globo. Aos centros de alta pressão denominados de anticiclones, estão associadas condições de tempo caracterizadas por grande estabilidade atmosférica com pouca mistura vertical e, portanto, fraca dispersão dos poluentes. Aos centros de baixa pressão ou ciclones, associam-se condições de instabilidade e de grande turbulência favorecendo a dispersão dos poluentes. Estas situações que influenciam as condições de turbulência e de estabilidade da atmosfera têm, por vezes, durações mais ou menos prolongadas, podendo, nas condições desfavoráveis à dispersão, levar a episódios de poluição mais intensos.

O grau de poluição de uma determinada região deve-se, em grande parte, às condições meteorológicas locais. Portanto, para a avaliação das concentrações dos poluentes é imprescindível o conhecimento dos fenômenos que regem a variabilidade atmosférica (MITKIEWICZ; MELO, 2002).

Neste sentido, utilizou-se dos dados de material particulado cedidos pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEPAM/RS), coletados através da estação automática localizada na cidade de Santa Maria, mais precisamente na Avenida Borges de Medeiros na esquina com a Avenida Presidente Vargas. Procurando-se relacionar as concentrações de material particulado com a sucessão habitual dos tipos de tempo que predominam na atmosfera da cidade, e utilizando para isto a caracterização proposta anteriormente, buscou-se verificar quais os tipos de tempo que predominam quando detectados os índices mais elevados de material particulado.

Para caracterizar adequadamente o tipo de tempo, bem como a massa de ar que dominava a cidade quando das elevadas concentrações de material particulado, utilizou-se dos dados disponibilizados pela estação meteorológica situada na UFSM. A partir disso, conseguiu-se distinguir o tipo de tempo atmosférico que caracterizou cada um dos dias onde os valores de concentração de material particulado ficaram acima de $50\text{mg}/\text{m}^3$ ³. Ressalta-se que os valores das concentrações de material particulado fornecidos pela FEPAM/RS, para o ano de 2004, consistiram nos dados somente a partir do dia 19 de abril. Para o ano de 2005 foram utilizadas na análise praticamente as concentrações do ano inteiro, faltando do intervalo entre o dia 12 de novembro e 01 de dezembro. E, por último, para o ano de 2006, não se obteve as concentrações dos dias 08 e 09 de fevereiro, 09 a 28 de maio, de 15 a 20 de outubro e, também do dia 06 de novembro. A falta desses dados decorre do não envio dos índices de coleta da Estação de Qualidade do Ar para o Escritório da FEPAM em Porto Alegre.

Esta análise consistiu em analisar a concentração média coletada para a cidade de Santa Maria, decidindo-se por analisar somente as concentrações de material particulado com valores acima de $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, os eventos que apresentaram valores relativamente altos para a cidade, e que ultrapassam o padrão médio anual de partículas inaláveis recomendado pela resolução do CONAMA.

³ Os valores superiores a $50\text{mg}/\text{cm}^3$ ficaram acima do desvio padrão calculado para os três anos em análise, 2004, 2005 e 2006, demonstrando-se como valores significativos a serem investigados.

Salienta-se que a partir destes valores aumentam as probabilidades de conseqüências nocivas à saúde dos habitantes da cidade.

Utilizando-se destes critérios, obteve-se um total de 136 dias com concentrações que ultrapassaram o índice de 50mg/m³ para os níveis de material particulado. Este número representa 14,25% do total de dias analisados.

Do total de 136 dias identificados, 62 (45,58%) ocorreram durante a fase pré-frontal, sob o domínio da massa polar velha. É sob domínio deste tipo de tempo, que ocorrem, portanto, a maioria dos dias de elevada concentração de material particulado. Estes dias apresentam condições atmosféricas que, em geral, se caracterizam por elevação de temperatura, fenômeno que ocorre com a tropicalização da massa polar em latitudes menores, pressão atmosférica em declínio, ventos na grande maioria soprando do quadrante N ou NW, possuindo, algumas vezes, segundo SARTORI (1993), condições atmosféricas primordiais à formação do fenômeno da ilha de calor urbana diante das grandes amplitudes térmicas.

Em segundo lugar, com 33 dias do total analisado (24,26%), teve-se o tempo atmosférico com predomínio das altas pressões, sob domínio da massa polar atlântica. Esses dias foram caracterizados por pressão atmosférica alta, céu limpo, temperaturas baixas (próximas de zero no inverno), ventos dos quadrantes S ou W e calmarias.

Em terceiro lugar quanto à participação no número de dias de elevada concentração de material particulado, aparecem os dias sob domínio da frente polar atlântica, com 22 dias (16,17%). É necessário enfatizar que, como nesta fase, em grande parte dos dias ocorrem precipitações, os dados relativos às concentrações eram de coletas anteriores às primeiras precipitações, ou em condições de domínio da frente polar atlântica sem a presença de chuvas, uma vez que com chuvas os níveis de poeiras na atmosfera alcançam os menores valores. Esses dias são caracterizados pela presença de ventos não definidos, pressão atmosférica alcançando os menores valores do episódio e céu encoberto.

Novamente com o domínio da fase pré-frontal, todavia desta vez sob atuação da massa tropical atlântica, tem-se 12,5% dos dias de elevada concentração de material particulado, totalizando 17 dias com estas características. O domínio da massa tropical atlântica ocorre basicamente no verão, e dentre as características do tipo de tempo que acompanha esta massa de ar, tem-se temperaturas elevadas

(muitas vezes as maiores registradas durante o ano), sendo que as demais características já foram mencionadas anteriormente, no capítulo onde se tratou dos aspectos metodológicos utilizados para a caracterização da fase pré-frontal.

Com a menor porcentagem dos dias de elevada concentração analisados, aparece a fase de domínio polar, embora desta vez sob efeito da massa polar continental, com apenas de 0,73% dos dias analisados, num total de um dia. Pode-se dizer que estes dias caracterizaram-se por baixíssimas temperaturas, com certeza as mais baixas do episódio, e as demais características que acompanham a atmosfera sob a fase de domínio polar.

Por último, contando também com apenas um dia de concentração de material particulado elevada, tem-se a fase pré-frontal, embora sob domínio da massa tropical continental, totalizando 0,73% dos dias analisados. Esses dados podem ser visualizados (FIGURA 29), bem como na TABELA 2.

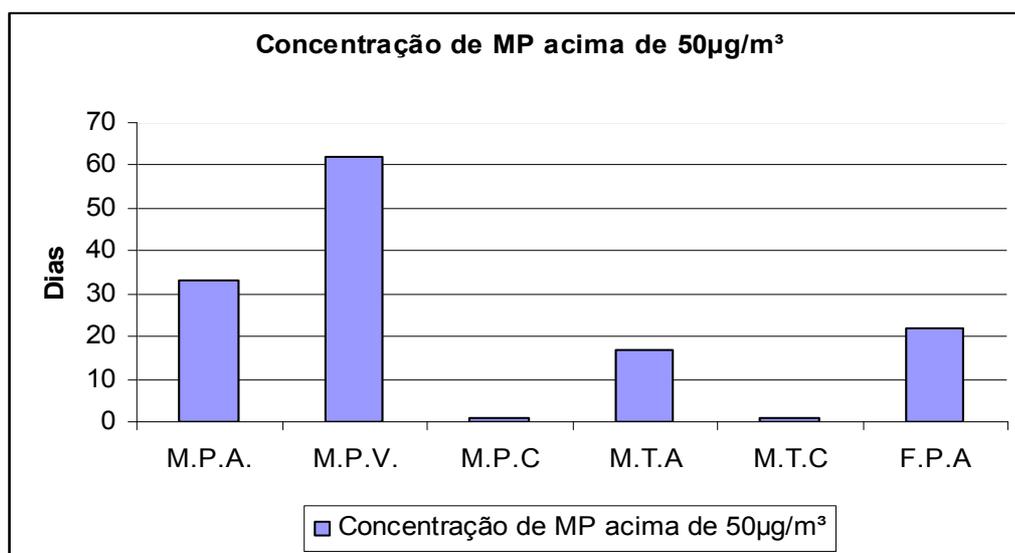


FIGURA 29: Dias de elevada concentração de MP e respectivo domínio de massa de ar e frente.

Fonte: Estação Meteorológica de Santa Maria.

Quando analisada a relação entre os dias de elevada concentração de material particulado de acordo com os dias da semana, verificou-se que não foi possível identificar a predominância de um dia específico (sempre enfatizando que as concentrações de poluentes neste caso refletem a realidade das condições geológicas e geourbanas das imediações da Avenida Borges de Medeiros), uma vez que nenhum dia da semana se sobressaiu quanto ao número de repetições de

elevadas concentrações. Porém, observou-se que os finais de semana (estendendo-se até segunda-feira), quando o tráfego de veículos é menos intenso, apresentaram diferenças significativas quanto ao número de dias com concentrações consideradas altas (superiores a $50\mu\text{g}/\text{m}^3$) situando-se, inclusive, abaixo da média da série (FIGURA 30)

TABELA 2 - Dias da semana com elevada concentração de MP na cidade de Santa Maria e respectivo domínio de massa de ar ou Frente.

<i>Dia da semana/massa de ar</i>	<i>M.P.A.</i>	<i>M.P.V.</i>	<i>M.P.C</i>	<i>M.T.A</i>	<i>M.T.C</i>	<i>F.P.A</i>	TOTAL
Seg	1	6	1	1	0	0	9
Ter	7	10	0	4	1	3	25
Qua	8	9	0	2	0	2	21
Qui	4	10	0	3	0	5	22
Sex	6	9	0	3	0	5	23
Sab	4	8	0	2	0	5	19
Dom	3	10	0	2	0	2	17
TOTAL	33	62	1	17	1	22	136

Fonte – Estação meteorológica de Santa Maria.

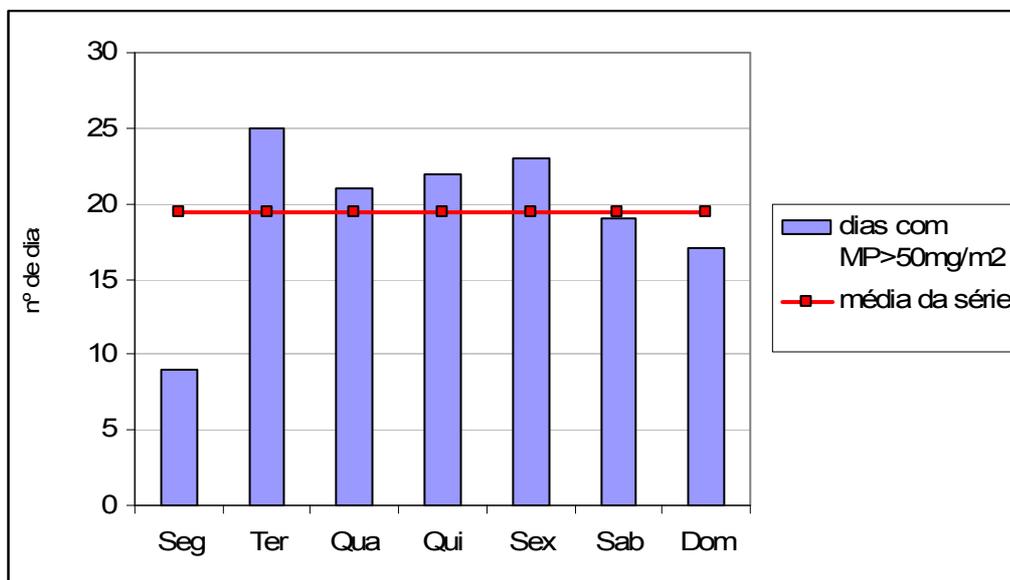


FIGURA 30 - Número de dias da semana de concentração de MP acima de $50\mu\text{g}/\text{cm}^3$.
Fonte – FEPAM/RS.

Diante do exposto anteriormente, pode-se inferir que este fenômeno ocorre como consequência dos menores fluxos de veículos nos finais de semana, fazendo

com que os poluentes da atmosfera da cidade sejam dispersos com maior facilidade (sempre relacionando com as condições meteorológicas vigentes), refletindo essas menores concentrações de material particulado no primeiro dia útil da semana.

4.6.1 Relação entre as concentrações de material particulado e as estações do ano.

Para esta análise selecionaram-se as concentrações de material particulado (mp 10) coletados na Estação automática da FEPAM para os anos de 2005 e 2006. Salienta-se que para verificar a média das concentrações de material particulado para as estações de inverno e verão utilizaram-se todos os dados diários e não somente as concentrações acima de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ coletados pela estação da FEPAM.

A média dos resultados obtidos para as coletas realizadas no verão e inverno de 2005 e 2006 pode ser visto no gráfico (FIGURA 31).

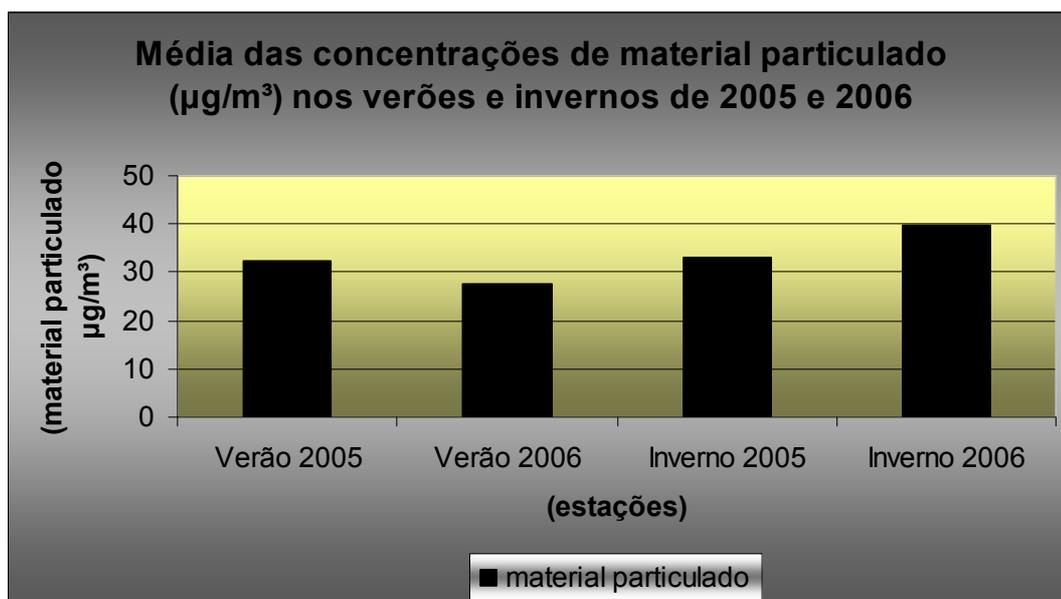


FIGURA 31 - Concentração média de material particulado para inverno e verão de 2005 e 2006. Fonte: FEPAM/RS.

Ao mesmo tempo em que se buscou entender a distribuição média diária de material particulado entre as estações do ano, buscou-se, também, identificar se os eventos de alta concentração de mp 10 (acima de $50\text{mg}/\text{m}^3$), nos anos de 2005 e 2006, responderam a alguma forma de controle atmosférico relacionado com a estação do ano. Estes dados são apresentados na TABELA 3.

TABELA 3 - Concentração média de material particulado para inverno e verão de 2005 e 2006.

<i>Número de dias de elevado índice de material particulado (acima de 50µg/m³)</i>	
Verão 2005	6
Inverno 2005	14
Verão 2006	4
Inverno 2006	23

Fonte: FEPAM/RS.

Uma das explicações para esta diferença de concentração do material particulado de acordo com a sazonalidade, é que no inverno tem-se uma estabilidade atmosférica maior que no verão, principalmente devido aos centros de alta pressão que atuam quando do domínio das massas de ar polares, fazendo com que se tenham vários dias seguidos de céu limpo, com poucos ventos. Somado a isso, a menor movimentação vertical das camadas de ar favorece a concentração dos poluentes, já que a menor incidência no inverno, em comparação ao verão, dos movimentos convectivos de ar dificultam a sua dissipação.

A ocorrência de dias com inversões térmicas, que se desenvolvem na atmosfera da cidade principalmente no inverno, onde a camada de ar frio fica sobre a camada de ar mais quente não permitindo os movimentos verticais de convecção, contribui também para a maior concentração e conseqüente menor dissipação dos poluentes atmosféricos.

Em função do acima exposto, nos períodos de verão, pode-se dizer, a partir da análise dos dados coletados, que os índices de material particulado são menores e, também, que o número de dias de elevada concentração é bem inferior, se comparado à estação de inverno. Uma explicação para isso é que no verão as condições atmosféricas são mais propícias à dissipação e diluição dos poluentes graças ao maior fluxo de ventos que ocorre neste período.

Da mesma forma que na presente pesquisa, em estudo realizado na cidade de Curitiba por DANNI-OLIVEIRA & BAKONYI (2002), onde os autores procuraram verificar os índices de material particulado de forma sazonal (verão e inverno), constatou-se que as concentrações de material particulado seguiram o mesmo padrão, pois o período de inverno apresentou os índices mais elevados.

Chama-se a atenção, também, para o fato de que as maiores concentrações conforme verificado anteriormente, ocorrem sob o domínio da massa polar velha.

Neste sentido, pode-se dizer que uma das explicações para esta relação está diretamente ligada a ser este o tipo de tempo que precede a entrada da frente, sendo, então, o estado atmosférico último antes de ocorrerem as primeiras precipitações e, conseqüentemente, de maior acúmulo de poluentes.

É importante salientar que o processo de precipitação favorece principalmente a limpeza do ar a partir das partículas grossas ($mp > 2,5 \text{ mg/m}^3$). Contudo, as partículas finas, que são predominantemente de processos de combustão de combustíveis fósseis, continuam em suspensão. Sendo assim, devido ao processo de lavagem da atmosfera, as precipitações favorecem a decantação do material particulado e auxiliam também na dissolução dos gases (DANNI-OLIVEIRA; BUKONYI, 2002).

É nesta fase, definida por SARTORI (1993) como pré-frontal, e sob domínio da Massa Polar Velha, que ocorrem as maiores taxas de deposição de material particulado, devido, muito possivelmente, também, à grande ressuspensão das partículas grossas do solo, partículas estas que foram se acumulando por conseqüência de diversos dias de atmosfera estável e sem chuvas.

As séries temporais de material particulado apresentam grande variabilidade das concentrações médias de 24 horas para o período amostrado. Pode-se constatar que na análise desses dois anos, há períodos de baixas concentrações, que partem de $6,61 \text{ mg/m}^3$ até dias que chegam a $147,15 \text{ mg/m}^3$. A partir dos dados coletados e analisando os índices que ultrapassaram 50 mg/m^3 , pode-se dizer que esta variabilidade está diretamente relacionada às condições atmosféricas dos períodos de amostragem.

Foi realizada uma caracterização meteorológica dos dias de elevadas concentrações de material particulado para os invernos e verões dos anos de 2005 e 2006. Neste sentido, ficou evidenciado que os dias em que ocorreram os mais altos níveis das concentrações estavam relacionados com a fase pré-frontal e sob domínio da massa polar velha, totalizando vinte e oito dias, ou 60,86% de um total de 46 dias de deposição de $mp > \text{que } 50 \text{ } \mu\text{g/cm}^3$.

Em segundo lugar, pode-se observar os dias sob domínio da Massa de Ar Polar (MPA), com um total de dez dias ou 21,73%. Durante a fase frontal, sob domínio da Frente Polar Atlântica obteve-se o total de sete dias, (15,21%), e por fim, na fase transicional sob domínio da Massa Tropical Atlântica só obteve-se um dia

com concentração acima do valor da média aritmética anual estabelecido pelo CONAMA para partículas inaláveis⁴.

Quanto aos dias sob domínio polar, mais especificamente sob a massa polar atlântica, verifica-se que eles ocorreram predominantemente durante o inverno, conforme pode ser visualizado nas TABELAS 4 e 5, com exceção do dia 10 de março de 2006, que se caracterizou por temperaturas amenas para a época e pressão atmosférica alta. Em geral, os dias que estiveram sob domínio da massa polar e sob elevada concentração de material particulado apresentaram-se com ventos do quadrante leste, de fracos a calmarias, caracterizando uma atmosfera estável e propícia à concentração dos poluentes.

A busca de uma relação entre a presença de ventos fortes e dias de elevadas concentrações seria equivocada, uma vez que somente se está procurando a interpretação dos dados cujos valores ultrapassam $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, pois os dias que obtiveram níveis elevados de partículas inaláveis, em geral, são caracterizados por uma atmosfera estável e sem presença de ventos intensos que atuassem na dispersão desses poluentes. Sendo assim, a busca de uma relação entre ventos fortes, utilizando-se este tipo de dado, e sabendo da grande influência deste fator na dispersão dos poluentes, tornaria esta uma investigação equivocada.

Neste sentido, o tipo observação quanto a influência dos ventos que é interessante destacar, como já verificado anteriormente na revisão de literatura, é a de que a presença de altos índices de poluição não estão relacionados a ventos de forte intensidade, e sim a calmarias ou ventos fracos. Esta interpretação pode ser verificada na TABELA 4. Quando observada a velocidade dos ventos para os dias em análise, e baseado na escala de ventos de Beaufort, pode-se dizer que estes ventos enquadram-se na categoria de brisas, possuindo o máximo valor encontrado no dia 17 de agosto, com velocidade de $8,8\text{m}/\text{s}$ (esta velocidade enquadra-se dentro da categoria de brisa fresca, que pode trazer como conseqüências o levantamento de poeiras e oscilação de pequenas árvores).

⁴ O CONAMA estabelece como padrão primário de material particulado inalável ($\text{mp} < 10\mu\text{g}/\text{m}^3$) o valor limite de $150\mu\text{g}/\text{cm}^3$ para 24 horas e $50\mu\text{g}/\text{cm}^3$ para a média aritmética anual.

TABELA 4 - Características atmosféricas dos dias de inverno de 2005 com concentrações de $mp > 50 \mu g/m^3$.

Dia	Índice de mp $\mu g/m^3$	Dir. e vel. dos ventos (09-15-21hs)			Fase	Sis. Atm.
30-jun-05	58,74583	Cal.	SE-1.6	E-1.3	Dom. Polar	MPA
07-jul-05	57,85675	SE-1.5	E-2.6	E-0.8	Dom. Polar	MPA
12-jul-05	64,485	SE-0.9	SE-3.3	E-1.3	Pré Frontal	MPV
20-jul-05	68,76146	E-0.8	SE-1.6	SE-1.3	Dom. Polar	MPA
28-jul-05	61,40862	Cal.	SE-1.6	E-0.7	Pré Frontal	MPV
29-jul-05	60,9325	E-1.6	E-1.6	SE-0.8	Pré Frontal	MPV
30-jul-05	54,55583	N-7.6	NW-5.0	NE-5.0	Pré Frontal	MPV
12-ago-05	55,6675	E-1.3	SE-2.3	NE-0.5	Dom. Polar	MPA
14-ago-05	62,26375	Cal.	SE-2.6	E-1.3	Pré Frontal	MPV
15-ago-05	80,97583	SW-0.5	NE-1.6	E-1.6	Pré Frontal	MPV
16-ago-05	52,82833	SE-2.3	NE-3.0	SE-3.0	Pré Frontal	MPV
17-ago-05	78,85174	N-8.8	SW-2.5	NW-1.3	Frontal	F.P.A
28-ago-05	59,625	Cal.	E-2.1	SE-2.5	Frontal	F.P.A
07-set-05	58,76792	S-0.5	SE-2.6	SE-0.5	Pré Frontal	MPV

Fonte: FEPAM/ RS e Estação Meteorológica de Santa Maria.

Com relação ao inverno de 2006, conforme visualizado na Tabela 5, tem-se um dia com uma concentração de material particulado muito acima da média para os padrões de Santa Maria, chegando a $147,15 \text{ mg/m}^3$ (mais de três vezes a média obtida nos invernos de 2006 e 2005). Quando é analisada os sistema atmosférico da cidade neste dia, verifica-se que nos dois dias anteriores, (22 e 23), os valores de material particulado já eram altos, ($64,77 \text{ mg/m}^3$ e $82,06 \text{ mg/m}^3$), ou seja, a atmosfera da cidade, já estava bem carregada quanto à poluição por material particulado. Enfatiza-se, também, que os ventos atuantes nestes dias foram fracos, não favorecendo a dispersão dos poluentes.

Analisando-se as temperaturas máximas e mínimas desses dias, verificou-se uma grande amplitude térmica, que para o dia 24 chegou a praticamente 20C° , tendo como temperatura máxima $25,7\text{C}^\circ$, e mínima de $6,7\text{C}^\circ$. Os dois dias anteriores, também obtiveram grandes amplitudes térmicas, ventos muito fracos e calmarias e nebulosidade zero, o que com certeza remete às características de inversões térmicas, fazendo com que esse material ficasse retido na atmosfera em níveis de altitude mais baixos, fazendo com que sua concentração fosse alta devido às condições desfavoráveis à dispersão de poluentes.

TABELA 5 - Características atmosféricas dos dias de inverno de 2006 com concentrações de $mp > 50 \mu g/m^3$.

Dia	Índice de mp $\mu g/m^3$	Dir. e vel. Dos ventos (09-15- 21hs)			Fase	Sis. Atm.
28-jun-06	70,44583	C	E-3,0	E-0,8	Dom. Polar	MPA
02-jul-06	54,4625	E-1,0	SE-1,3	E-1,3	Dom. Polar	MPA
05-jul-06	84,42084	C	SE-0,8	E-1,3	Dom. Polar	MPA
07-jul-06	54,24583	SE-1,6	NE-1,6	NE-3,3	Pré Frontal	MPV
18-jul-06	56,94167	N-0,5	SW-1,6	NW-1,0	Pré Frontal	MPV
20-jul-06	76,79412	SW-1,0	NW-2,0	C	Pré Frontal	MPV
21-jul-06	52,3125	NE-1,3	NW-3,5	NW-1,6	Pré Frontal	MPV
01-ago-06	67,10834	SW-0,3	SE-3,0	C	Dom. Polar	MPA
02-ago-06	85,825	SE-1,0	E-3,3	NE-0,5	Dom. Polar	MPA
04-ago-06	57,4625	E-1,3	E-1,6	E-0,5	Pré Frontal	MPV
05-ago-06	85,53043	C	SE-0,5	SE-0,3	Pré Frontal	MPV
06-ago-06	88,45834	SE-1,3	E-3,3	E-2,0	Frontal	F.P.A
12-ago-06	57,32084	SE-8,6	NE-0,8	SE-1,3	Pré Frontal	MPV
13-ago-06	53,35417	S-4,8	E-1,6	E-2,0	Pré Frontal	MPV
22-ago-06	64,77917	C	NW-2,0	NW-0,5	Pré Frontal	MPV
23-ago-06	82,0625	C	SW-2,0	E-0,8	Pré Frontal	MPV
24-ago-06	147,1542	SW-0,5	SE-2,3	NE-1,5	Pré Frontal	MPV
25-ago-06	98,85	NE-0,3	NE-2,0	NE-1,0	Pré Frontal	MPV
26-ago-06	72,15417	NW-0,7	NW-5,0	NW-2,5	Frontal	F.P.A
06-set-06	57	NE-1,3	E-3,3	NE-2,0	Pré-Frontal	MPV
08-set-06	57,0875	C	NW-1,6	C	Frontal	F.P.A
10-set-06	68,58334	NE-1,0	N-3,3	NE-1,0	Pré Frontal	MPV
12-set-06	52,54583	NE-1,0	SE-3,3	E-3,8	Pré Frontal	MPV

Fonte: FEPAM/RS e Estação Meteorológica de Santa Maria.

A partir desses resultados, constata-se que para a cidade de Santa Maria/RS existe uma estreita relação entre elevadas concentrações de material particulado inalável e as condições meteorológicas atuantes, uma vez que, em grande parte desses dias, verificou-se a atmosfera caracterizada pela fase pré-frontal e sob domínio da massa de ar polar velha. Este fato evidencia uma estreita relação entre elevadas concentrações de material particulado inalável e o tipo de tempo caracterizado pela fase pré-frontal na cidade de Santa Maria.

A susceptibilidade das concentrações de poluentes às condições meteorológicas são visíveis novamente quando se observa as baixas condições de particulado para os meses de verão nas TABELAS 6 e 7. Estes são presentes em poucos dias e associados, em grande parte, da massa tropical atlântica.

TABELA 6 - Características atmosféricas dos dias de verão de 2005 com concentrações de $mp > 50 \mu g/m^3$.

Dia	Índice de mp $\mu g/m^3$	Dir. e vel. dos ventos (09-15-21hs)			Fase	Massa de ar
08-jan-05	58,95695	E-2.0	SE-1.6	SW-0.3	Pré Frontal	MTA
23-jan-05	53,38786	E-1.8	SE-3.6	NE-0.5	Transicional	MTA
08-mar-05	63,42083	NW-2.5	SW-2.5	SW-2.6	Pré Frontal	MTA
11-mar-05	55,33758	SW-1.3	SW-1.3	C	Pré Frontal	MTA
12-mar-05	94,61475	NE-2.0	SE-4.5	SE-3.6	Frontal	F.P.A
29-mar-05	53,3025	s/d	s/d	s/d	Pré Frontal	MPV

Fonte: FEPAM/RS e Estação Meteorológica da de Santa Maria .

TABELA 7 - Características atmosféricas dos dias de verão 2006 com concentrações de $mp > 50 \mu g/m^3$.

Dia	Índice de mp $\mu g/m^3$	Dir. e vel. Dos ventos (09-15-21HS)			Fase	Massa de ar
09-mar-06	53,22625	C	W-2.3	C	Frontal	F.P.A
10-mar-06	52,43792	SE - 3.0	SE-2.0	SE-0,3	Dom. Polar	MPA
16-mar-06	64,55083	NE-1.6	S-2.0	SE-0.3	Pré Frontal	MTA
17-mar-06	56,04333	SE-1.3	SW-2.3	SW-0.5	Pré Frontal	MTA

Fonte: FEPAM/RS e Estação Meteorológica de Santa Maria.

Uma das conseqüências do grande movimento de veículos nas ruas estreitas do centro da cidade, é a de que além das partículas e gases que são emitidas por esses veículos, venha somar-se a ressuspensão das partículas de poeira que se acumularam com a escassez dos períodos chuvosos.

Observa-se que os dias que estiveram sob o domínio da frente polar atlântica e que obtiveram elevados índices de material particulado, refletem as concentrações verificadas nos minutos que antecederam as precipitações, ou mesmo a entrada da frente polar atlântica sem a ocorrência de chuva mas com presença de grande nebulosidade.

De acordo com o verificado através da literatura, onde os maiores índices de poluição estão associados ao domínio dos sistemas de alta pressão, representado na região sul e mais especificamente na cidade de Santa Maria pelo Anticiclone Polar Atlântico (SARTORI, 1984), pode-se dizer que estes índices estão ligados principalmente a Massa Polar Velha (massa de ar polar em tropicalização) já estando com temperaturas mais elevadas.

Esta relação vem demonstrar que as condições meteorológicas locais são de extrema importância quando da análise dos poluentes presentes na atmosfera das cidades. Aliado a esse controle exercido periodicamente pelos sistemas atmosféricos regionais, as variáveis intrínsecas às características geourbanas e

geoecológicas das cidades, bem como as funções exercidas (industrial, prestadora de serviços ou ambas) podem dar respostas diferenciadas quanto às concentrações de poluentes.

4.6.2 Relação entre as concentrações de material particulado e as precipitações ocorridas nos meses de inverno e verão.

Para verificar a existência da relação entre as quantidades de chuvas dos períodos de inverno e verão de 2005 e 2006 com os níveis de concentração de material particulado referentes a este período, foi calculado o total das precipitações para cada estação e comparado aos índices de particulados coletados.

Para efeito de melhor visualização, os dados referentes às precipitações estão expostos na TABELA 8.

TABELA 8: Índices de precipitação (em mm) de inverno e verão de 2005 e 2006.

Ano/estação	Inverno	Verão
2005	261,8	164,7
2006	395,8	323,4

Fonte - Estação Meteorológica de Santa Maria.

Observando os valores da tabela, verifica-se que o inverno de 2006 aparece como o período mais chuvoso dentre todos, seguido pelo verão de 2006. Muito provavelmente influenciado pelo fenômeno “El Niño”, que provoca o aquecimento das águas do Pacífico, maior evaporação e conseqüentemente maior quantidade de chuvas.

Quando verificada a relação entre as concentrações de material particulado e as precipitações ocorridas, tomando-se o inverno de 2006 como exemplo, observa-se que apesar de os índices de concentração serem os mais altos do período analisado, fato verificado quando observadas as concentrações de poeira para o mês de agosto, quando atingem os níveis máximos, os índices de pluviometria são os mais elevados dentre os períodos analisados. Infere-se que isto decorre devido a influência do fenômeno da inversão térmica, que ocorreu no período de 22 a 15 de agosto, influenciando as elevadas concentrações de material particulado para o mês de agosto. Salienta-se também, que os períodos de altas concentrações de

particulados e as precipitações ocorrem de forma alternada, ora com períodos de dias sem chuvas, onde ocorrem os índices mais elevados de precipitações, ora períodos chuvosos, que coincidem com os índices de material particulado inferiores a $50\text{mg}/\text{m}^3$.

Neste sentido observa-se no mês de agosto, do dia primeiro até o dia seis, a presença de níveis elevados de concentração de material particulado para todos os dias, coincidindo com dias de atmosfera estável e sem chuvas. Da mesma forma, agora utilizando o período que compreende do dia 22 até o dia 26, depara-se com dias sucessivos de elevadas concentrações, conforme pode ser verificado na FIGURA 32, alcançando neste período a máxima concentração de material particulado dentre todos, como já comentado anteriormente. Pode-se dizer que estes dias são caracterizados por grandes amplitudes térmicas, ocorrendo o fenômeno de inversão térmica e domínio das altas pressões, embora em declínio. As precipitações neste mês ocorreram nos dias 6,10,11,15,16,18,26,27 e 31 totalizando 75,6mm.

Diante disto, e novamente utilizando o mês de agosto como um exemplo didático para ilustrar a relação os altos índices de poluição e também de precipitações, pode-se dizer que nos meses de inverno as precipitações atuam principalmente de forma a eliminar os poluentes oriundos da ressuspensão do solo, embora os poluentes continuem a ser emitidos pelos seus principais agentes, ou seja, os veículos. Aliado a isso, as baixas temperaturas e os períodos de dias de estabilidade atmosférica fazem com que mesmo em um mês de grande quantidade de precipitações se tenha um elevado índice de material particulado.

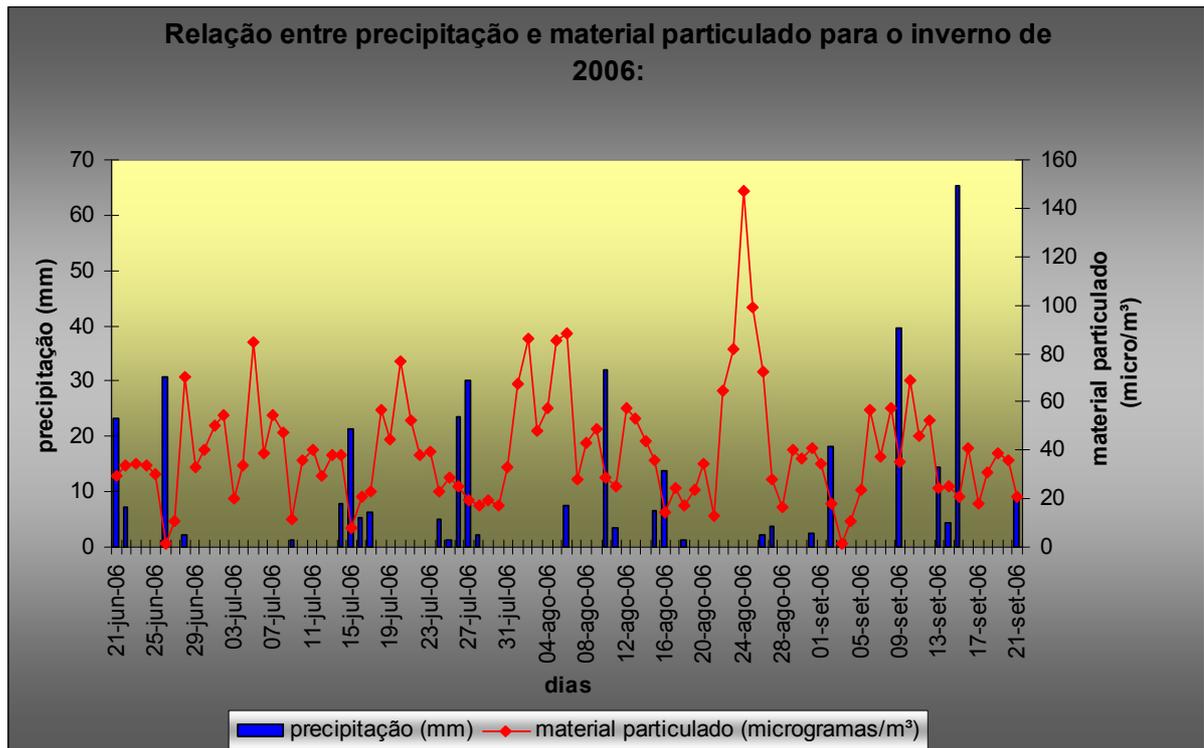


FIGURA 32: Gráfico referente às concentrações de material particulado e quantidades de precipitações para o inverno de 2006.

Fonte: FEPAM RS e Estação Meteorológica de Santa Maria.

Esta mesma idéia pode ser utilizada para o período de 12 a 17 de agosto (inverno) do ano de 2005, conforme demonstra a FIGURA 33. Embora sendo este menos chuvoso, a concentração de particulados entre os dias 12 e 17 foi bastante expressiva.

Desse modo, e reforçando a idéia de que nos meses de inverno são obtidas as maiores concentrações de poluentes, e, conseqüentemente, material particulado, pode-se citar dois estudos recentes realizados em duas cidades brasileiras, Duque de Caxias e Curitiba. Para o primeiro estudo, realizado por Russo; Brandão (2000), verificou-se que os níveis de qualidade do ar apresentaram situações de risco à saúde da população, sobretudo, nos meses de inverno, quando a forte influência das condições de tempo nas concentrações resultou em um grande número de violações do padrão aceitável definido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Quanto ao estudo realizado na cidade de Curitiba por BAKONYI & DANNI-OLIVEIRA (2002), onde se buscou analisar a atuação de alguns elementos atmosféricos na atenuação das poeiras em suspensão para os anos de 1997, 1998, 1999 e 2000, verificou-se também que os maiores índices de material particulado ocorreram no inverno.

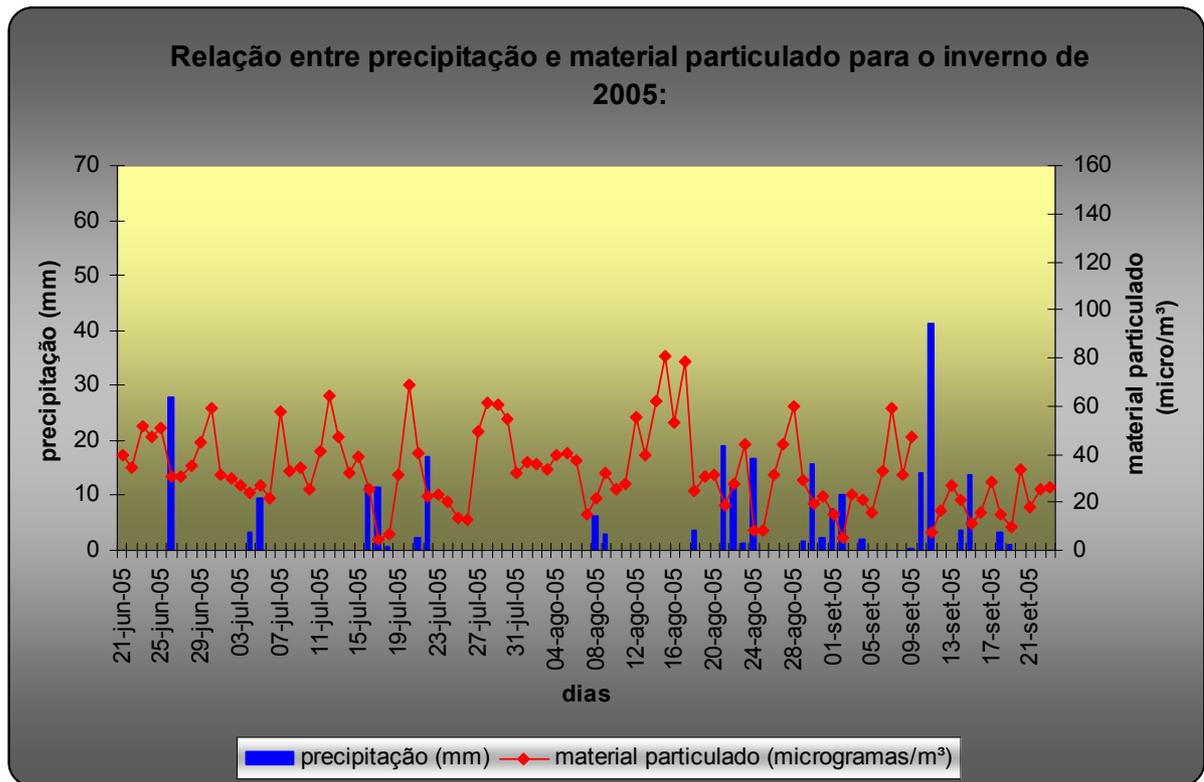


FIGURA 33: Gráfico referente às concentrações de material particulado e quantidades de precipitações para o inverno de 2005.

Fonte: FEPAM RS e Estação Meteorológica de Santa Maria.

Buscando a relação entre precipitação e material particulado para os verões de 2005 e 2006, verifica-se que o verão de 2005 apresentou maior número de dias de concentração de poeiras acima de $50\text{mg}/\text{m}^3$ (FIGURAS 34 e 35), e também estão acima dos níveis encontrados no verão de 2006. Outro fator interessante a considerar, é que para o verão de 2006 somente no mês de março foram encontradas concentrações de particulados acima de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Conforme evidenciam os dados, pode-se dizer que existiu uma relação para os períodos de verão dos anos de 2005 e 2006 entre os níveis de precipitação e as elevadas concentrações de material particulado. Constatou-se que o ano que possuiu menor número de dias chuvosos (2005), e que quanto ao volume total de precipitação da estação, apresentou as menores quantidades, teve como reflexo uma atmosfera mais carregada quanto às concentrações de material particulado, demonstrando a funcionalidade do mecanismo de “limpeza” da atmosfera exercido pelas chuvas.

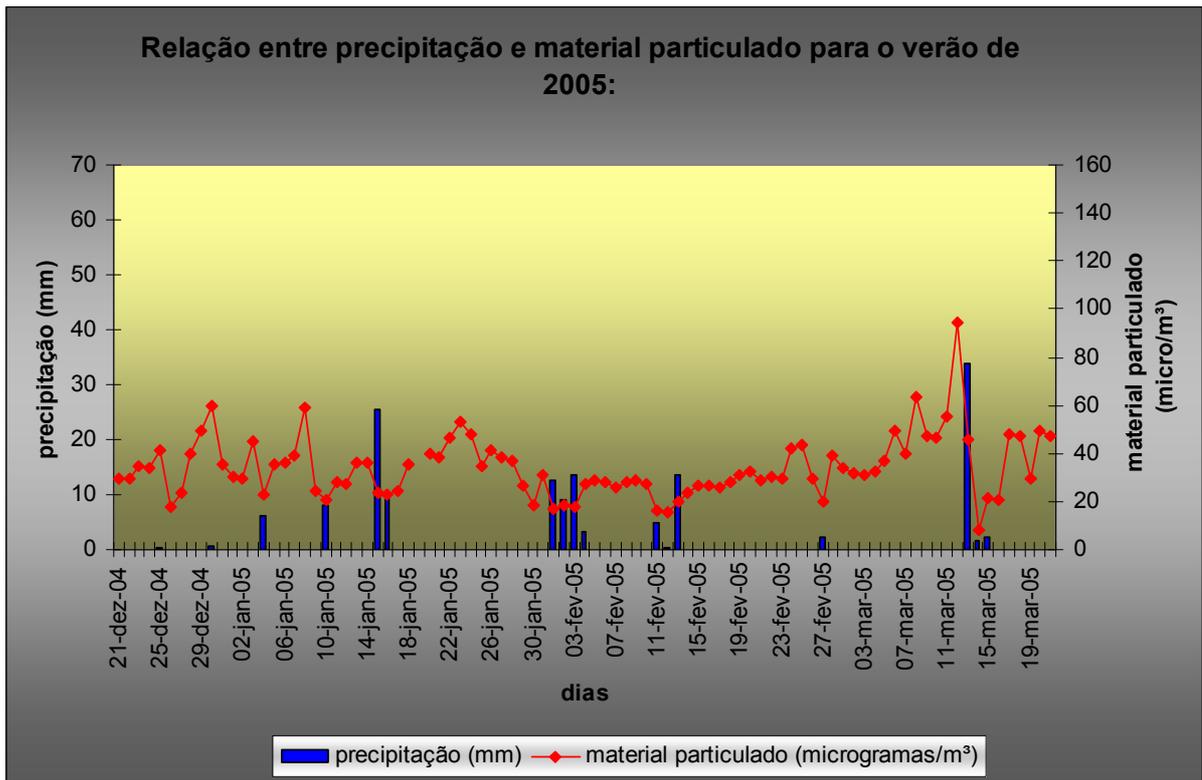


FIGURA 34: Gráfico referente às concentrações de material particulado e quantidades de precipitações para o verão de 2005.

Fonte: FEPAM RS e Estação Meteorológica de Santa Maria.

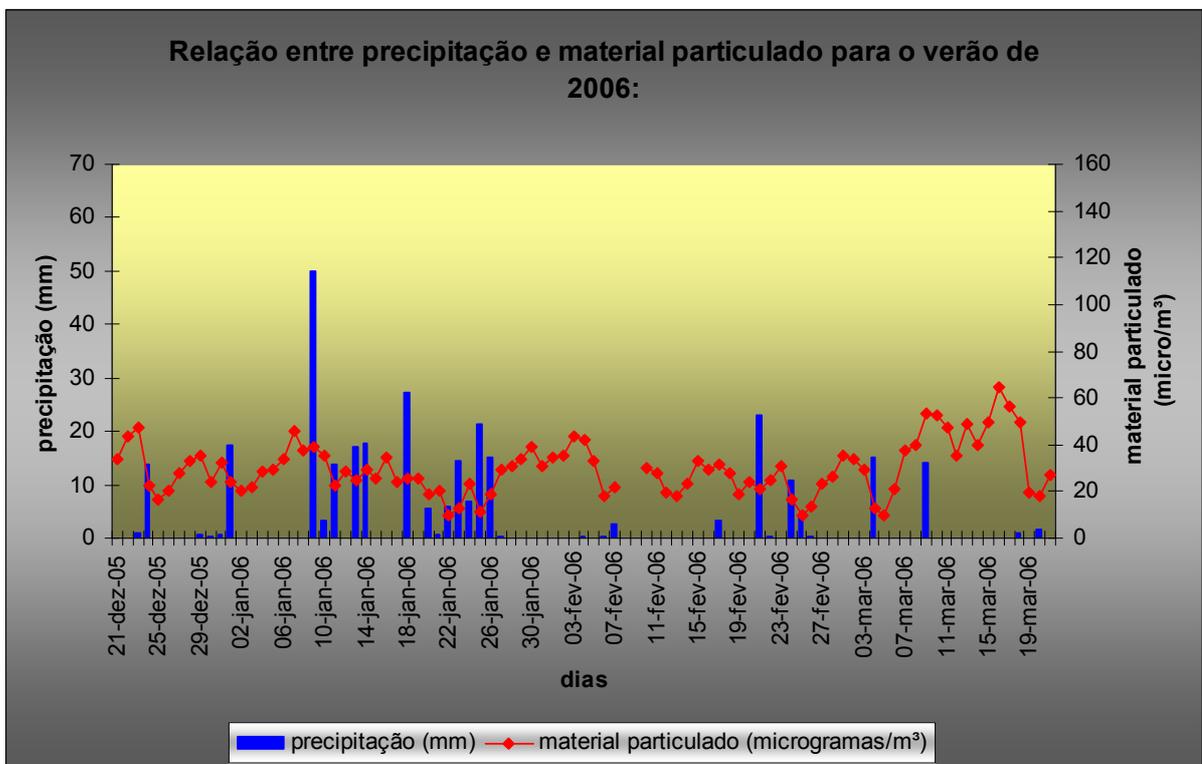


FIGURA 35: Gráfico referente às concentrações de material particulado e quantidades de precipitações para o verão de 2006.

Fonte: FEPAM RS e Estação Meteorológica de Santa Maria.

Evidencia-se esta realidade ao comparar-se as menores concentrações de material particulado e maior quantidade de precipitações para o verão de 2006 com as menores quantidades de chuvas ocorridas no verão de 2005 e conseqüentemente as maiores concentrações de poeiras.

Embora verificada a existência desta relação, não se pode tomar como verdade absoluta que quanto maiores os níveis de precipitação menores serão as concentrações de material particulado. Neste sentido, ressalta-se que, apesar das chuvas possuírem um papel de grande importância, representam apenas uma das variáveis envolvidas, dentre outros fatores geocológicos e geourbanos que determinam as concentrações de material particulado em áreas urbanas. Também deve ser levado em consideração, no sentido de não tomar essa relação existente como uma verdade incondicional para a cidade de Santa Maria, que o período de análise foi muito curto, apenas dois anos, enquanto que, um padrão só se define a partir da análise de dados de um período mais significativo de tempo para que se possam verificar as possíveis repetições.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se analisar os resultados obtidos através desta pesquisa, tanto na investigação dos dados coletados a campo, quanto para os dados que foram cedidos pela FEPAM-RS, gostaria de enfatizar que se buscou cumprir os objetivos propostos inicialmente, de acordo com o método desenvolvido e material que se dispunha para a experimentação e análise.

Diante disto, e de acordo com o que foi apresentado nas páginas anteriores, considera-se como investigados os objetivos e hipóteses propostos anteriormente, destacando que em momento algum procurou-se exaurir as diversas dinâmicas e interpretações acerca da poluição atmosférica na cidade de Santa Maria.

Na primeira etapa, foi proposta a elaboração de um zoneamento ambiental quanto ao potencial de deposição de material particulado nas principais ruas e avenidas do bairro Centro da cidade, para então comparar com as coletadas realizadas a campo.

As variáveis utilizadas para a elaboração deste zoneamento ambiental do bairro Centro forneceram diferentes respostas quando realizada a comparação das áreas tidas como de maior e menor potencial à deposição de poluentes, com o que foi coletado a campo. Neste sentido, e com base nas variáveis propostas (sentido do arruamento, presença significativa de arborização, e tráfego de veículos), verificou-se que as respostas foram significativas quanto às quantidades de poeiras depositadas nas coletas a campo, uma vez que grande parte das ruas e avenidas demonstraram quantidades de particulados condizentes com o que foi pré-estabelecido no zoneamento ambiental.

Na segunda etapa, onde se estimou a quantidade de material particulado que se deposita nas principais ruas e avenidas do bairro Centro e sua variação temporal, a partir de um método artesanal de coleta, verificou-se que as deposições foram bem diferenciadas conforme o local de coleta, não sendo possível estabelecer uma relação que evidencie nível de deposição com alguma estação do ano.

Salienta-se para o fato de que este tipo de análise, a partir de dados coletados por material elaborado artesanalmente, faz com que os cuidados tanto no momento da escolha de local apropriado, bem como na verificação do que foi coletado a campo, sejam bem mais meticulosas. Desta forma, deve-se ter muita

atenção e conseqüente investigação, quando de uma grande variação em algum valor coletado, levando sempre em conta o padrão das outras coletas realizadas, uma vez que este valor muito diferenciado pode estar respondendo não à dinâmicas envolvendo as variáveis em análise, mas algumas vezes a fatores que vem a “mascarar” o dado encontrado na coleta a campo.

A investigação da relação entre as concentrações de material particulado inalável com os tipos de tempo, demonstrou a existência de uma grande correlação quanto ao número de dias de concentração acima de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ com os meses de inverno para a cidade de Santa Maria. Esse fato vem a validar a premissa inicial, conforme apontada na hipótese feita, de que os dias de inverno, por influência da sua maior estabilidade atmosférica, apresentam maior número de dias e também maiores concentrações de material particulado inalável, devido a maior dificuldade de dispersão. Destaca-se também, que quando verificada a existência do fenômeno de inversão térmica, as concentrações de particulados inaláveis se mostraram bem elevadas, fato este que pode vir a tornar-se um foco de pesquisa interessante na busca dessa relação em períodos maiores, tanto para Santa Maria como para outras cidades.

O trabalho realizado por Missio (2004) intitulado “Concentração de material particulado em suspensão no ar na cidade de Santa Maria, RS: uma proposta metodológica” onde utilizou-se de uma metodologia simples de pesquisa, vem reforçar a realidade verificada nos resultados desta pesquisa. Este autor chegou a constatação de que os locais de maior presença de vegetação como a praça Saturnino de Brito e também a avenida presidente Vargas, faz com que se minimizem os efeitos do grande volume de partículas lançadas pelo tráfego intenso principalmente de ônibus. Constatou também que os dias em que se teve escassez de precipitação coincidiram com o maior acúmulo de partículas na atmosfera.

De maneira geral, pode-se dizer que para o caso da cidade de Santa Maria, o fluxo de veículos constitui-se no principal fator de contribuição na deteriorização da qualidade do ar. Embora parecendo de fácil diagnóstico para se chegar a essa afirmação, devido às características da cidade descritas anteriormente (cidade com déficit industrial), quando levada em consideração a idéia inicial, de estudar a variabilidade das diferentes concentrações de poeiras em uma escala de ruas e avenidas, através da relação entre variáveis geoecológicas e geourbanas, ela se torna importante. Sua importância se revela quando constatado que na análise

comparatória entre ruas e avenidas de intensidade parecida quanto ao fluxo de ônibus, verificaram-se diferentes concentrações de partículas depositadas devido à influência dos outros fatores estudados.

A partir da análise de correlação entre as concentrações obtidas nas coletas, pode-se da importância do fluxo de ônibus nas concentrações de material particulado. O fato de que para um número significativo de vezes, a variação das concentrações entre diferentes pontos, apresentou-se parecida, demonstra que a variabilidade existente na presença de material particulado depositado, entre uma coleta e outra, pode se dar mais em função da variação do fluxo de veículos do que por fatores como presença de vegetação e sentido do arruamento. Embora como já destacado anteriormente, a presença da vegetação em áreas urbanas é um elemento de grande importância quando da busca de um ambiente saudável, por todos os serviços citados que ela desempenha em áreas urbanas.

Chama-se atenção também para o fato de que a presença de vegetação, principalmente quando da conexão entre os elementos arbóreos, faz com que grande quantidade de poeiras que são emitidas, e conseqüentemente poderiam entrar em ação com o organismo humano através das vias respiratórias, fiquem retidas nestas barreiras verdes. Esta afirmação relaciona-se a esta pesquisa, uma vez que grande parte dos locais de alta concentração de particulados coincidiram com ruas de insignificante presença de arborização.

No tocante a atenuação das partículas de poluição que são emitidas, algumas sugestões poderiam ser utilizadas para o caso da cidade de Santa Maria, tais como:

- A conscientização e fiscalização dos motoristas para que seja efetuada a regulagem do motor.
- arborizar o mais densamente possível as ruas e avenidas que possuem maior fluxo de veículos pesado que consomem óleo diesel, pois a emissão de partículas por esses veículos fica acrescida nas áreas onde estes aceleram, nos semáforos e nas ruas com declividades acentuadas;
- utilizar de cartilhas que informam sobre as espécies arbóreas que podem ser usadas para o controle da poluição aérea em canteiros centras de avenidas e praças, bem como informações sobre as espécies arbóreas de pequeno porte, recomendadas para controlar a

poluição atmosférica urbana e serem plantadas em passeio onde podem entrar em conflito com redes elétricas;

- criação de barreiras verdes próximas as paradas de ônibus quando possível, fazendo com que parte dos particulados emitidos sejam atenuados antes de entrarem em contato com as pessoas;
- para o caso específico da Rua André Marques, que obteve as maiores quantidades de poeiras, poderiam ser plantadas árvores de médio porte que captassem grande parte da poeira e fuligem emitida pelos ônibus, uma vez que na região onde foi colocada a plaqueta de coleta de material particulado as calçadas dispõem de condições para o plantio de elementos arbóreos;
- o plantio de árvores em áreas de média a altas vertente pode ser uma forma de amenizar as quantidades de poeiras, uma vez que verificou-se grande acúmulo de partículas nessas áreas, tal como foi evidenciado na Avenida Medianeira, bem como André Marques);
- uma possível reorganização do trânsito de veículos no bairro Centro da cidade, forçando o maior uso do transporte coletivo de passageiros, com vistas a diminuir o fluxo de veículos, uma vez que diversas ruas são estreitas, facilitando que parte do que é emitido de particulados entre em contato com as pessoas que transitam em suas calçadas ,
- ainda, como medidas de conter as elevadas quantidades de poeiras na Rua André Marques, verificou-se o predomínio de árvores caducifólias, que no período de inverno perdem totalmente suas folhas, não contribuindo no sentido de melhoria da qualidade do ar. Sendo assim, sugere-se que na realização de novos plantios, a escolha priorize espécies vegetais que não percam totalmente suas folhas no inverno.

Embora cientes das limitações dessa pesquisa quanto a um diagnóstico preciso na investigação da poluição do ar em Santa Maria, devido a fatores como presença de somente uma estação automática na cidade, e a existência de dados de um curto período de tempo, este trabalho pode vir a contribuir para futuras investigações no que se refere à poluição do ar desta cidade.

Espera-se, também, contribuir com os planejadores no momento de tomar possíveis medidas quanto aos locais de implantação de arborização e áreas verdes na cidade, bem como para uma possível reordenação do fluxo de ônibus com vistas à menor emissão de poluentes.

6 BIBLIOGRAFIA

AMBIENTE BRASIL. Endereço eletrônico: < <http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 20/08/2007.

ANDRADE, T. O. **Inventário e análise da arborização viária da estância turística de Campos do Jordão, SP.** 2002.196p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ARANTES, M. R. L. **Relações entre o Processo de Urbanização e a Qualidade da Água de uma Bacia de abastecimento urbano: Ribeirão Cafezal/PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2003. 164p.

BAKONYI, S. M.C. . Análise Qualitativa da Distribuição Espacial das Doenças Respiratórias em Curitiba. In: I SENISA - URB, 2002, Curitiba. Impactos Sócio Ambientais Urbanos: desafios e soluções. Curitiba : UFPR, 2002. v. 01. p. 78.

BARBOSA, M. A. Efeito da vegetação no entorno de áreas residenciais no microclima e a sua influência no conforto térmico no interior de moradias populares. 2005. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005, CD Rom.

BELÉM, J. **História do município de Santa Maria; 1797 – 1983.** Santa Maria, Edições UFSM, 1989, 277p.

BRANDÃO, A.M. de P.M. & RUSSO, P.R. A cidade do Rio de Janeiro e sua qualidade do ar: quadro comparativo das concentrações mensais de partículas em suspensão na atmosférica entre as décadas de 1980 e 1990. In: 5° SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p. 797-808.

_____ Qualidade do ar e saúde pública: uma contribuição metodológica. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p.857-866.

BRASIL. **Artigo 30,VIII, 183 da Constituição Federal**, disponível em: <<http://www.pge.sp.gov.br/centrodeestudos/bibliotecavirtual/dh/volume%20i/constituicao%20federal.htm>>. Acesso em: 18 ago.2004.

CETESB/SP. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Poluição do ar. <www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_geral.asp>Acesso em 19/01/2007

CUNHA, R.D. de A. **Os usos, funções e tratamentos das áreas de lazer da área central de Florianópolis**. Tese de Doutorado (Engenharia da Produção) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

DAMILANO, D.C.R. Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos. **Relatório Final de bolsa de iniciação científica (PBIC/CNPQ)**. São José dos Campos, 2006. 44p.

DANNI-OLIVEIRA, I. Considerações sobre a poluição do ar em Curitiba-pr face a seus aspectos de urbanização. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, América do Sul, 2004, p. 101-110.

_____ A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. São Paulo, 1999. 330 p. **Tese** (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Cetesb, 1992. 201 p.

ESTATUTO DA CIDADE. Disponível em:<<http://www.estatutodacidade.com.br/>> Acesso em: 15 de jul.2004.

ELETROPAULO. Endereço eletrônico: <www.eletropaulo.com.br>: Acesso em: 25/12/2005

FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente). Qualidade do ar. Endereço eletrônico: < <http://www.feema.rj.gov.br/qualidade-ar>>. Acesso em: 17/02/2007.

FELLEMBERG, Günter. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. São Paulo; ed. USP, 1980.

FIGUEIRÓ, A. S. **Aplicação do zoneamento ambiental no estudo da paisagem: uma proposta metodológica**. Dissertação de mestrado Florianópolis: UFSC, 1997.

FIGUEIRÓ, A. S. Mudanças ambientais na interface floresta cidade e propagação de efeito de borda no maciço da tijuca, rio de janeiro. **Tese de Doutorado** - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2005. 400 p.

FILHO, D. F. S. Indicadores de floresta urbana a partir de imagens aéreas multiespectrais de alta resolução. **SCIENTIA FORESTALIS**, n. 67, p.88-100, 2005.

FLORES, A.; PICKETT, S.T.A.; ZIPPERER, W.C.; POUYAT, R.V.; PIRANI, R. Adopting modern ecological view of the metropolitan landscape: the case of a greenspace system for the New York City region. **Landscape and Urban Planning**. n. 39, p. 295-308,1998.

FRANCO, M. A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. São Paulo: Annablume, 2. ed, 2001, 296p.

GERAQUE, E. A. Perigo no ar. **Scientific American Brasil**. N°.54, 2006. Disponível em:< http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/perigo_no_ar.html>. Acesso em 25/112006.

HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D. R. e COUSINS, S. (1993) - **Landscape Ecology and Spatial Information Systems** /n: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D. R. e COUSINS, Landscape ecology and spatial information systems. Bristol: Taylor and Francis, Cap. 1, p. 3-8.

HENRIQUE, Wendell. **O direito a natureza na cidade. Ideologia e práticas na história.** Rio Claro: tese de doutorado (Geografia) - Universidade Estadual Paulista. Unesp, 2004.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: “**Anuário estatístico de 1996**”, Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

_____ **Censo Demográfico Brasileiro 2000.** Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

JACOBI, P. Do centro à periferia – Meio ambiente e cotidiano na cidade de São Paulo. **Ambiente e Sociedade:** Ano 3. n° 67, p. 145-162, 2000.

JACKSON, L.E. The relationship of urban design to human health and condition. **Landscape and Urban Planning** n.64, p. 191-200, 2003.

LANA, A. D; NOGUEIRA, A. N; JUNGES, L. L; GARCIA, M. S; BORGES, N. B; MENEGUELLO, O. M; BALSAN, R. **Área verde do bairro Centro do município de Santa Maria.** 1999. 23p. Trabalho apresentado na disciplina de Análise Ambiental do curso de Especialização em Geociências da UFSM, Santa Maria, 1999. 23p. (Inédito).

LIMA, V. Avaliação da qualidade ambiental urbana em Osvaldo Cruz/Sp. **Anais.**In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 05 a 09 de setembro de 2005.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: O exemplo de São Paulo.** São Paulo: Hucitec, 1985, 244p.

LUCAS, C.A de L.; ANTUNES, R. L. S; FIGUEIRÓ, A. S. Caracterização e conflitos entre vegetação urbana e Qualidade ambiental no bairro centro da cidade de Santa Maria/RS: uma primeira aproximação. In: V Seminário Latino-america, I Seminário Ibero-americano de Geografia Física. **Anais**, Santa Maria, Brasil, 2008, p. 986 – 1007.

MARQUES, J.R. **Meio ambiente urbano**. Rio de Janeiro: Forense Universitária. 2005.

MARCHIORI, J. N & NOAL, V.A. **Santa Maria: relatos de impressões de viagem**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1997, 296p.

MARCHIORI, J.N.; NOAL FILHO, V.A.; MACHADO, P.F.S. **Do Céu de Santa Maria**. Santa Maria: PMSM, 2008.

MARTINS, L. A. A Temperatura do Ar em Juiz de Fora – MG : Influência do Sítio e da Estrutura Urbana. – Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP – Rio Claro, **Dissertação** (Mestrado em Geografia) 1996, 168p.

MASCARÓ, L.R. **Ambiência urbana**. Porto Alegre: Editora Sagra, 1996, 199p.

_____. **Vegetação urbana**. 2ed. Porto Alegre: Editora Mais Quatro, 2005. 204p.

MATTOZO, V. **Poluição no ar: Caderno digital de informação sobre energia, ambiente e desenvolvimento**.
Endereço: <<http://www.guiafloripa.com.br/energia/entrevista/energia>> Acesso em 12/02/2007.

MITKIEWICZ, G.F.M. & G.C.B. MELO. Dispersão atmosférica de poluentes em um complexo industrial siderúrgico. In: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Y Ambiental. Cancun, México, 2002.

MELLO, A. C. A imagem da Praça Tiradentes em Curitiba. Curitiba, **Percepção em Geografia – caderno 2**, Departamento de Geografia da UFPR, set. 1995. p.22 – 27.

MENDONÇA, F.A. **O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR**. Tese de Doutorado em Geografia USP, 300p. 1994.

MENEGAT, R.; PORTO, M.L.; CARRARO, C.C.; FERNANDES, L.A.D. **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1998.v.1.228p.

MISSIO, Luís Rodrigo. **Concentração de material particulado em suspensão no ar na cidade de Santa Maria, RS: uma proposta metodológica**. Monografia de graduação (Geografia). UFSM. Santa Maria-RS, 2004, 111p.

MONTEIRO, C.A. de F. interação homem- natureza no futuro da cidade. **GeoSul**, v.7, n.14, p.07-48, 1992.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

NASCIMENTO, C.C. Urbanização- processo, causas e efeitos. In: **Meio Ambiente: Qualidade de Vida e Desenvolvimento**, Belém, UFPA, 1992.

NEFUSSI, N. & LICCO, E. **Solo urbano e meio ambiente**. Endereço <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/meioamb/mamburb/apresent/index.htm>>. Acesso em: 12/02/2007.

NOWAK, D.J. CRAINE, D.E.; STEVENS, J.C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening** 4, NY: Syracuse, p.115 – 123, 2006.

_____. Measuring and analysing urban tree cover. **Landscape and urban planning** 36: Syracuse, NY, p. 49-57, 1996.

NUCCI, J.C.; CAVALHEIRO, F. Cobertura vegetal em áreas urbanas – conceito e método. **GEOUSP** 6, São Paulo: Depto. de Geografia/USP, pp. 29-36, 1999.

OLIVEIRA, Carlos Henke. **Análise de padrões e processos do uso do solo, vegetação, crescimento e adensamento urbano**. Estudo de caso: Município de Luiz Antônio(SP). 2001.113p. Tese (Doutorado em Ciências Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

PALSUE, S.S. Desenvolvimento sustentável e a cidade. In: RUALDO, M & PALMEIDA, G. (org). **Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades**. Porto Alegre: editora da UFRGS, 2004.

PEITER, P.; TOBAR, C. Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, (14) 3, 473-485, jul-set, 1998.

PLANO DIRETOR DE SANTA MARIA. In: < www.santamaria.gov.br/planodiretor>. Acesso em: 12/09/08.

REZENDE, R.F; SANTIAGO, B.S; BALTHAZAR, M.R; FERREIRA, C.C.M. A relação entre a incidência das áreas verdes e as taxas de poluição do ar na porção nordeste da cidade de Juiz de Fora-MG. **Anais**. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 05 a 09 de setembro de 2005.

ROCHA, J.R. **Cobertura vegetal em áreas urbanas: uma comparação entre três bairros do município de Santa Maria – RS**. 2006. 65p. Trabalho de Conclusão (Graduação em Geografia) – UFSM, Santa Maria, 2006.

BRANDÃO, A. M. P. M. ; RUSSO, Paulo Roberto . Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro: Ocupação e Qualidade do Ar. In: IV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2000, Rio de Janeiro. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Rio de Janeiro, 2000.

SALDIVA PHN, LICHTENFELS AJFC, PAIVA PSO, BARONE IA, MARTINS MA, MASSAD E, PEREIRA JCR, XAVIER VP, SINGER JM, BÖHM GM. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Environ. Research**, 65:218-225, 1994.

SALDIVA PHN, POPE CA, SCHWARTZ J, DOCKERY DW, LICHTENFELS J, SALGE JM, BARONE I, BOHM GM. Air pollution and mortality in elderly People: a time-series study in São Paulo, Brazil.. **Environ. Health**, 50(2):159-163, 1995.

SALES, V.C. Geografia, Sistemas e Análise Ambiental: Abordagem Crítica. **GEOUSP** - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 16, p.125-141, 2004.

SANTOS, M. 1992: a redescoberta da natureza”, **Estudos Avançados**. N 14. São Paulo: Edusp, 1992.

SARTORI, M. da G. **O clima de Santa Maria, RS: Do regional ao urbano**. Dissertação de Mestrado (Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

_____. Consideração sobre a ventilação nas cidades e sua importância no planejamento urbano. *Ciência e Natura*. Santa Maria, 6, p.59-74, 1984.

_____. A Circulação atmosférica regional e os principais tipos de sucessão do tempo no inverno do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência e Natura*. Santa Maria, v.8,p. 69-80., 1993.

SECRETARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. Título desconhecido. 2001. 10p.

SEWELL, G. H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: ed. da USP, 1978.

SILVA, C. A. M. **Considerações sobre o espaço urbano de Maringá – PR: Do espaço de floresta à cidade-jardim, representação da “cidade ecológica”, “cidade verde”**. Tese apresentada ao Programa de pós graduação em Engenharia de Produção: Centro Tecnológico da UFSC. Florianópolis, 2006.

SILVA, J.A. **Direito urbanístico brasileiro**. 2ed. São Paulo: Malheiros, 1997.

TAFFE, R. H. **A ambiência verde e a poluição automotiva na área urbana de Santa Maria – RS**. 1989. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFSM, Santa Maria, 1989.

TORRES, F.T.P. & MARTINS, L.A. **Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de juiz de fora (Mg)**. *Caminhos de Geografia* 4 (16).p. 23-39. Endereço eletrônico: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 14/08/2006.

TRINDADE, J. A. **Áreas verdes e a expansão urbana**. Disponível em: <http://www.sbau.com.br/arquivos/gaucho_arborizacao/Anais_do_evento/1/body_1.HTM>. Acesso em 12 de abr.2004.

TROPPIAIR, H. Estudo biogeográfico das áreas verdes de duas cidades médias do interior paulista: Piracicaba e Rio Claro. **Geografia**, vol.1,n.1, pp.63-78.

TROPPIAIR, H. . **Metodologias Simples Para Pesquisar O Meio Ambiente**. Rio Claro: Graff Set, 1988. 238 p.

VAN KAMP, I.; LEIDELMEIJER, K.; MARSMAN, G.; DE HOLLANDER, A. Urban environmental quality and human wellbeing. Towards a concepts framework and demarcations of concepts; a literature study. **Landscape and Urban Planning**, n. 65, p. 5-18, 2003.

VITAL, G. T.D. Percepção sistêmica. **anais**. In: I encontro de percepção e paisagem da cidade de Bauru, Maio 2006.

VORODON, C.A. Urban biosphere and society. **Annals** of the New York Academy of Sciences, New York, 2004.

YANG, J. McBRIDE, J.;ZHOU, J.;SUN, S. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. **Urban Forestry & Urban Greening** 3, Ca: University of California at Berkeley, p.65-78, 2005.