

INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE FONTES ESTACIONÁRIAS E SUA
CONTRIBUIÇÃO PARA A POLUIÇÃO DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO
DE JANEIRO

Dilson Ojeda Pires

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS
DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.

Prof. Marcos Sebastião de Paula, D.Sc.

Prof. Emílio Lèbre La Rovere, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2005

PIRES, DILSON OJEDA

Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro [Rio de Janeiro] 2005

VI, 188 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Planejamento Energético, 2005)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Inventário de Emissões Atmosféricas
2. Fontes Estacionárias
3. Gestão da Poluição do Ar

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE FONTES ESTACIONÁRIAS E SUA
CONTRIBUIÇÃO PARA A POLUIÇÃO DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO
DE JANEIRO

Dilson Ojeda Pires

Fevereiro/2005

Orientador: Roberto Schaeffer

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho inicialmente apresenta um panorama dos instrumentos de gestão da poluição do ar que são atualmente utilizados em uma das maiores regiões metropolitanas do país, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Além disso, mostra como ocorreu o desenvolvimento da aplicação do Inventário de Fontes Fixas de Poluentes Atmosféricos para esta área, segundo a metodologia recomendada pela agência ambiental americana. Na segunda parte do trabalho, o banco de dados gerado é analisado e algumas possibilidades de utilização são propostas a fim de subsidiar a ação de planejamento do ambiente atmosférico desta região.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STATIONARY SOURCE ATMOSPHERIC EMISSION INVENTORY AND ITS
CONTRIBUTION FOR THE AIR POLLUTION IN THE RIO DE JANEIRO
METROPOLITAN REGION

Dilson Ojeda Pires

February/2005

Advisor: Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning

This work initially presents a view of the air pollution management means, actually utilized in one of the country's greatest metropolitan region, Rio de Janeiro Metropolitan Region. Besides that, it presents the appliance development of the Point Source Atmospheric Pollutants Inventory for this area, according to the methodology recommended by american environmental agency.

In the second part, the produced data bank is analyzed and some utilization possibilities are proposed with the aim of subsiding the action of planning the region atmospheric environment.

ÍNDICE

1- INTRODUÇÃO	1
2- POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	5
2.1- A Atmosfera	5
2.2- Poluição Atmosférica	6
2.3- Poluente Atmosférico	8
2.4- Fontes de Poluição	9
2.5- Escalas do Problema de Poluição do Ar	12
2.6- Efeitos da Poluição Atmosférica	16
2.7- Abordagem Meteorológica da Poluição Atmosférica	22
2.8- Transformações Químicas dos Poluentes na Atmosfera	26
3- GESTÃO DA POLUIÇÃO DO AR	31
3.1- Considerações Gerais	31
3.2- Padrões de Qualidade do Ar	32
3.2.1- Padrões de Qualidade do Ar no Brasil	34
3.2.2- Critérios de Qualidade do Ar	36
3.2.2.1- Critérios para Efeitos Físicos	38
3.2.2.2- Critérios para Efeitos Biológicos	39
3.2.3- Procedimentos Alternativos para o Estabelecimento dos Padrões de Qualidade do Ar	40
3.3- Padrões de Emissão	41
3.3.1- Padrões Subjetivos	41
3.3.2- Padrões Objetivos	42
3.3.3- Abordagens Empregadas no Desenvolvimento dos Limites de Emissão	43
3.3.3.1- Derivação de Considerações sobre o Processo e Equipamento	43
3.3.3.2- Derivação da Abordagem Rollback	45
3.3.4- Meios ou Maneiras para Implementação dos Padrões de Emissão	46
3.3.5- Padrões de Emissão no Brasil	47
3.4- Monitoramento da Qualidade do Ar	49
3.4.1- As Escalas de Espaço de Monitoramento da Qualidade do Ar	49
3.4.2- Visão Geral da Organização de uma Rede de Monitoramento	51
3.4.2.1- Estações de Medição Fixa	52
3.4.2.2- Estações de Medição Móveis	52
3.5- Monitoramento de Fontes	53
3.6- Controle Tecnológico de Fontes Fixas	55
3.6.1- Controle pela Diluição das Emissões	56
3.6.2- Controle na Fonte	56
3.7- Licenciamento Ambiental e Avaliação do Impacto Ambiental	59
4- A FERRAMENTA: INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE FONTES ESTACIONÁRIAS	62
4.1-Definição	62
4.2- Importância e Utilização	63
4.3- Tipos de Poluentes e Fontes Comumente Abordados nos Inventários	64
4.4- Abordagens Utilizadas no Desenvolvimento dos Inventários	68
4.5- Metodologia Adotada nos Estados Unidos	70
4.5.1- Exigências Legais	70
4.5.2- O Processo de Inventário de Emissões Atmosféricas	71
4.6- A Iniciativa Brasileira	89

5- O DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO.	91
5.1- Caracterização da Área em Estudo: Região Metropolitana do Rio de Janeiro	91
5.2- Principais Fontes de Emissões Atmosféricas	94
5.2.1- Fontes Fixas	94
5.2.2- Fontes Móveis	96
5.3- Panorama da Gestão da Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro	97
5.3.1- Instrumentos Legais	98
5.3.2- Monitoramento da Qualidade do Ar	100
5.3.2.1- Redes de Monitoramento	101
5.3.2.2- Caracterização da Qualidade do Ar na RMRJ	104
5.3.3- Licenciamento de Atividades Poluidoras	110
5.3.4- Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera – PROCON-AR	112
5.3.5- Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV	113
5.3.6- Avaliação dos Instrumentos Atualmente Utilizados	114
5.4- O Inventário de Fontes de Emissão de Poluentes do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro	116
5.4.1- O Inventário de Fontes Fixas	117
5.5- Apresentação dos Resultados	131
6- AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO NA GESTÃO DA POLUIÇÃO DO AR DA RMRJ	137
6.1- Avaliação dos Resultados	137
6.1.1- Avaliação: Distribuição Setorial	141
6.1.2- Avaliação: Distribuição Geográfica	152
6.2- Possibilidades de Utilização do Banco de Dados na Gestão da Poluição do Ar da RMRJ	158
6.2.1- Uso a partir da Distribuição Setorial	159
6.2.2- Uso a partir da Distribuição Geográfica	160
6.2.3- Uso a partir da Criação de Cenários	167
7- CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	170
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181

Capítulo 1: Introdução

A habilidade da sociedade em causar significantes distúrbios ao meio ambiente é um fenômeno recente e fortemente influenciado pelo crescimento demográfico e desenvolvimento tecnológico.

O homem primitivo vivendo em menor número e realizando sua prática cotidiana com baixo consumo de matéria e energia não alterou significativamente o seu ambiente natural.

Como ressaltou KEMP (1994), a população total mudou muito pouco por milhares de anos e o domínio sobre o meio ambiente começou a se tornar um desafio à sobrevivência.

Essencial para aquele desafio foi o desenvolvimento da tecnologia que induziu o uso cada vez mais intenso de recursos materiais e energia.

As atividades humanas, no entanto, estão atreladas às leis naturais bem definidas e implacáveis em suas ações.

A segunda lei da termodinâmica, por exemplo, através do conceito de entropia, estabelece patamares energéticos distintos em fenômenos que inicialmente, na forma mais organizada, apresentam baixa entropia e, após a transformação e obtenção do efeito desejado, resultam em qualidade energética inferior, ou seja, alto valor entrópico.

O aumento na desorganização ocorrida, aumento da entropia do sistema, gera efluentes: materiais de conteúdo energético inferior às matérias-primas empregadas, alguns deles gasosos.

O homem, portanto, ao longo de sua trajetória e conseqüente intensificação no uso de materiais tem contribuído para o processo de poluição atmosférica através da liberação destes efluentes ou emissões gasosas.

A poluição atmosférica, entretanto, 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. A atividade antrópica, por sua vez, acaba por intensificar a poluição do ar com o lançamento contínuo de grandes quantidades de substâncias poluentes (OLIVEIRA, 1997).

A carga de poluentes atmosféricos liberados se concentra principalmente na camada de ar mais próxima à superfície da Terra, a troposfera, onde gases tóxicos e materiais

particulados em suspensão contribuem significativamente para a degradação da qualidade do ar.

Por outro lado, como ressaltou OLIVEIRA (1997), nesta mesma região da atmosfera coexistem gases como o dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) e o ozônio troposférico, que desempenham importante papel no equilíbrio térmico do planeta.

A intervenção humana, entretanto, não representava uma grande ameaça enquanto a população ainda era reduzida e o nível de tecnologia baixo, dando oportunidade para a atmosfera acionar seus mecanismos de controle internos e manter a estabilidade necessária.

As crescentes inovações tecnológicas, a partir da segunda metade do século dezoito, intensificaram a produção industrial, altamente dependente das fontes primárias de energia fóssil como o carvão, o que ocasionou um nível de poluição do ar capaz de comprometer os mecanismos regulatórios da atmosfera.

Ou como diria James Lovelock (citado por KEMP (1994)), “o mecanismo regulatório de Gaia pode ter sido enfraquecido pelas atividades humanas”.

Graves episódios de poluição atmosférica ocorreram em grandes cidades no século passado, acarretando a morte de milhares de pessoas devido às condições atmosféricas desfavoráveis e a ausência de sistemas de controle adequados.

Em geral, a maior contribuição da carga de poluentes nas grandes metrópoles está associada ao setor de transportes; em seguida, o setor industrial assume importante contribuição nas regiões mais desenvolvidas de um país quase sempre associada à alta densidade demográfica.

Apesar do crescente registro de óbitos relacionados à poluição atmosférica aliado às condições meteorológicas da região, somente a partir do trágico incidente ocorrido em Londres, em 1952, com a perda de 4.000 pessoas por bronquite e pneumonia, num intervalo de quatro dias, é que a comunidade científica se atentou para a necessidade de buscar soluções através de estudos para se prever as condições atmosféricas favoráveis à concentração de poluentes(DORST,1973).

Além desta iniciativa, os países desenvolvidos, movidos pelos freqüentes incidentes de poluição do ar, estruturaram sistemas de políticas ambientais com a adoção de padrões de qualidade ambiental - padrões de qualidade do ar e os padrões de emissão – que em conjunto com o desenvolvimento de sistemas de controle cada vez mais eficazes pudessem trazer benefícios à qualidade de vida da população urbana.

Nestes países se observou uma tendência à modernização das instalações industriais por ocasião do licenciamento ambiental, com o objetivo de abater as emissões atmosféricas.

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 e siderúrgicas, responsáveis pelas emissões de poluentes para a atmosfera, está concentrada em áreas urbanas(PUC, 2002).

Algumas destas áreas, anteriormente classificadas como zonas estritamente industriais, foram conduzidas pelo crescimento desordenado das cidades a abrigar residências expondo uma parcela considerável da população das cidades brasileiras às emissões provenientes daquele tipo de instalações.

As ações de controle em âmbito nacional estão concentradas na existência de padrões de qualidade de ambiental estabelecidos pelas resoluções CONAMA.

A regulamentação da emissão de poluentes gerados por grandes fontes estacionárias ocorre em grande parte nas fases do licenciamento ambiental. Não se observa, entretanto, uma tendência de modernização das instalações com o objetivo de abater as emissões atmosféricas. Além disso, existem lacunas importantes relativas ao monitoramento ambiental do entorno dos complexos industriais do país, no que se refere ao fornecimento de séries históricas e informações, tais como: a composição dos efluentes e a quantificação das emissões, dificultando enormemente avaliação dos impactos causados pelas fontes estacionárias (PUC, 2002).

Dentro deste contexto, esta dissertação tem o objetivo de discutir a necessidade de caracterização das emissões atmosféricas das fontes estacionárias do país como forma de subsidiar as decisões e avaliações dos impactos causados por estas fontes.

Para tanto, inicialmente aborda-se, no capítulo II, a poluição do ar em caráter conceitual a fim de fornecer a base teórica para a discussão futura.

O capítulo III está dedicado à apresentação dos principais instrumentos de gestão de poluição do ar utilizados atualmente para o controle de fontes estacionárias.

A caracterização dos poluentes, como dito anteriormente, é realizada com a utilização de uma ferramenta de gestão da poluição do ar denominada genericamente de Inventário de Emissões Atmosféricas, cuja implantação nos países desenvolvidos é uma prática comum e que no Brasil, apesar de estar prevista na legislação, ainda é bastante incipiente. O capítulo IV apresenta, portanto, a ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas discutindo a metodologia atualmente empregada pela agência ambiental americana e os

esforços brasileiros na tentativa de implementar uma metodologia para elaboração dos seus inventários de fontes.

O capítulo V apresenta o desenvolvimento da ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas, segundo os moldes da metodologia americana, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Procurou-se inicialmente, averiguar a gestão da poluição do ar atualmente utilizado na região com a descrição dos principais instrumentos utilizados e a caracterização da qualidade do ar. Em seguida o processo do Inventário de Emissões Atmosféricas na RMRJ é descrito e os resultados são apresentados.

A avaliação dos resultados é realizada no capítulo VI, além da apresentação de algumas sugestões para utilização dos dados gerados.

No capítulo VII, conclui-se o trabalho com a apresentação de uma síntese dos principais resultados obtidos, as limitações e restrições impostas no uso da ferramenta para o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, além das perspectivas e desdobramentos da pesquisa.

Capítulo 2: Poluição Atmosférica

Este capítulo introduz um panorama dos conceitos básicos essenciais à compreensão dos problemas causados pela poluição atmosférica.

2.1 A Atmosfera

A atmosfera é uma espessa camada de gases contendo líquidos em suspensão e partículas sólidas que envolvem completamente a Terra, e junto com esta formam um sistema ambiental integrado (KEMP, 1994).

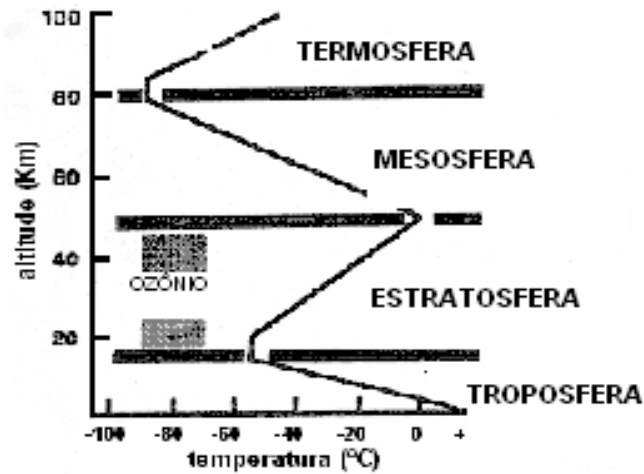
Quase toda massa da atmosfera, cerca de 90%, localiza-se nos primeiros 30 km de altitude, sendo que 50 % estão concentrados nos primeiros 5 km (RIBEIRO *et al*, 2000).

A região mais próxima à superfície da terra é chamada troposfera, sendo uma camada de ar estreita e densa que contém praticamente toda a massa gasosa da atmosfera (75%), além de quase todo vapor d'água e aerossóis. É a zona na qual ocorrem a maioria dos fenômenos atmosféricos e onde a manifestação dos problemas ambientais globais - chuva ácida, turbidez atmosférica e aquecimento global - têm sua origem e alcança sua maior extensão, devido ao nível de intervenção humana a que está submetida.

A camada seguinte, a estratosfera, é mais seca e contém grandes quantidades de ozônio, tendo uma importância científica grande em função dos processos de absorção e dispersão dos raios solares que ali incidem.

Acima da estratosfera estão as regiões quimiosfera (mesosfera) e ionosfera (termosfera), que influenciam diretamente na quantidade e na distribuição espectral da energia solar e nos raios solares cósmicos que alcançam as camadas inferiores. Esta estrutura vertical da atmosfera, sua delimitação em várias camadas sobrepostas, está baseada no perfil de temperatura traçado na medida que se varia a altitude, conforme mostra a figura 2.1.

Figura 2.1: A estrutura vertical da atmosfera



Fonte: KEMP (1994).

Esta camada de ar tem sofrido modificações na sua composição química devido as constantes trocas dinâmicas com outros sistemas terrestres: hidrosfera e litosfera.

2.2 Poluição Atmosférica

Durante centenas de anos os seres humanos vêm realizando atividades que modificaram a composição química da atmosfera.

O conceito de poluição atmosférica inclui atividades humanas e/ou atividades naturais que levam à deterioração da qualidade original da atmosfera.

Como assinalou BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987), a erupção do vulcão Krakatoa, em 1883, introduziu mais poeira na atmosfera do que toda fumaça produzida pelas atividades humanas ao longo da história. Além das erupções vulcânicas, outros fenômenos

naturais como queimadas nas florestas e a dispersão de areia pelo vento, entre outros, são fatores que intensificam o fluxo de matéria introduzida na atmosfera, “contaminando” o ar.

Esta “contaminação” é na verdade a poluição natural como definiu *BOUBEL et al* (1984), e que introduz na atmosfera gases que atualmente são considerados poluentes.

Existem algumas opiniões sobre o conceito de poluição atmosférica, alguns atribuem o fato somente à ação das atividades humanas, porém como ressaltou CAVALCANTI (2003) uma definição desta natureza seria um pouco limitada.

De acordo com o conceito de proteção atmosférica em alguns países industrializados, como a Alemanha, poluição atmosférica é a introdução direta ou indireta de materiais na atmosfera em quantidades que afetam sua qualidade e composição resultando em efeitos negativos para o bem estar humano, a natureza viva e não viva, aos ecossistemas, aos materiais, aos recursos naturais e à utilização do meio ambiente (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987).

Este conceito foi ampliado pela Convenção da Comissão Econômica Européia sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça de Longo Alcance (UNECE, 2004), que passou a considerar a poluição atmosférica não só a emissão de substâncias materiais no ar, como também a emissão de qualquer forma de energia capaz de causar efeitos nocivos.

Segundo STERN et al (1984), o ar não poluído é um conceito e seria a composição do ar se o homem e suas atividades não estivessem na terra. O ar que respiramos seria então definido como: “... ar poluído diluído...”, cujos principais elementos constitutivos são o nitrogênio, o oxigênio e o vapor d’água.

O ar é uma mistura complexa de muitas substâncias com aproximadamente 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e os 1% restantes incluindo pequenas quantidades de substâncias como o dióxido de carbono, metano, hidrogênio, argônio, hélio, além de vapores orgânicos e material particulado em suspensão.

2.3 Poluente Atmosférico

“Poluente atmosférico é toda substância sólida, líquida ou gasosa que afeta prejudicialmente o meio ambiente após mudanças químicas na atmosfera ou pela ação sinérgica com outras substâncias” (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987).

Estes poluentes causam prejuízo à composição química da atmosfera com as seguintes consequências:

- Perigo ou prejuízo ao bem estar dos homens e dos animais;
- Dano ao meio ambiente (natural, residencial ou área de trabalho) levando a efeitos sobre a sociedade que podem ou não ser expressos financeiramente;
- Levando a efeitos que conduzam a deterioração do conforto, como a diminuição da visibilidade.

A Resolução CONAMA nº 03 de 1990 estende este conceito através de uma definição que incorpora a variável energia como possível poluente.

Assim, de acordo com CONAMA (1990a), poluente atmosférico é “... qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem-estar público;
- Danoso aos materiais, à fauna e flora;
- Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade, e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como sólidos, líquidos e/ou gasosos, de acordo com seu estado de agregação. Na prática estes três grupos podem ser combinados de acordo com alguns pontos de vista.

Substâncias sólidas ou líquidas podem ser agrupadas como particulado ou material particulado desde que princípios físicos sejam freqüentemente utilizados para sua remoção e suas densidades sejam aproximadamente três vezes maiores do que a do ar onde estão diluídos.

Os gases e vapores formam outro grupo, sendo poluentes moleculares com existência permanente: os gases propriamente ditos, ou os vapores que à temperatura ambiente podem sofrer condensação e voltar à forma líquida original (BOUBEL *et al*, 1984).

De acordo com sua composição química, os poluentes podem ser classificados em inorgânicos e orgânicos.

Podem também ser classificados como poluentes primários e secundários, sendo os primeiros já emitidos na forma de poluentes e os outros formados na atmosfera por reações químicas ou fotoquímicas com a participação de dois ou mais poluentes ou com a participação de componentes próprios da atmosfera (PARTER, 1978)

Os poluentes podem ainda ser classificados de acordo com os seus efeitos em substâncias radioativas, metais pesados, tóxicas, carcinogênicos, mutagênicos etc.

2.4 Fontes de Poluição

São muitas as fontes de poluição do ar. Podem ser de origem natural, como as emissões vulcânicas, os incêndios florestais, os aerossóis dos oceanos, etc., ou de origem antropogênica, que resultam das inúmeras atividades humanas.

Em algumas situações torna-se difícil a classificação de uma fonte como natural ou antropogênica. STERN *et al* (1984), assinalou que se, por exemplo, uma atividade humana resultasse na remoção da camada superficial da terra e posteriormente o particulado ali formado fosse carregado pelo vento para outra região onde as pessoas sofressem o prejuízo, ficaria difícil decidir se o evento é natural ou resultante da atividade humana. A correta

definição dependeria do tempo de análise. Ou no caso dos incêndios florestais com produção de emissões bastante significativas, que podem ser de origem natural ou antropogênica.

Fonte de poluição atmosférica é um conceito amplo que, segundo BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987), pode ser definido como:

- 1- Um local do qual escapam substâncias poluentes (chaminés, dutos, descargas de ar, etc.);
- 2- Processos e/ou equipamentos de produção (caldeiras, fornos, linhas de produção, câmaras de combustão, etc.);
- 3- Uma área como conjunto de pontos e/ou processos e equipamentos numa região específica, capazes de liberar matéria ou energia para a atmosfera, tornando-a poluída.

As emissões das fontes naturais ocorrem com frequência diferente das emissões das fontes antropogênicas, porém são emissões bastantes significativas e muitas vezes superam as emissões de origem antrópica.

As várias fontes de poluição do ar podem ser classificadas do seguinte modo (CAVALCANTI, 2003):

- Fontes estacionárias ou fontes fixas: que podem ser subdivididas em dois grupos: um abrangendo atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como queimadas, lavanderias e queima de combustíveis em padaria, hotéis e outras atividades consideradas não industriais; outro formado por atividades individualmente significativas, em vista à variedade ou intensidade de poluentes emitidos, como a poluição dos processos industriais.

- Fontes móveis: são todos os meios de transporte aéreo, marítimo e terrestre que utilizam motores à combustão como força motriz.
- Fontes naturais: são todos os processos naturais de emissão que vêm ocorrendo durante milhares de anos, como atividades vulcânicas, os aerossóis marinhos, a liberação de hidrocarbonetos pelas plantas, a ação eólica entre outros.

A tabela 2.1 a seguir enquadra as fontes descritas e apresenta os principais poluentes originário.

Tabela 2.1: Relação entre Fontes e seus Poluentes Característicos

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado
		Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre
		Monóxido de carbono
		Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras e névoas)
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e Hidrocarbonetos
		Mercaptans, HF, H ₂ S, NO _x
	Queima de Resíduos Sólidos	Material particulado
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x
	Outros	Hidrocarbonetos, material particulado
Fontes Móveis	Veículos Automotores	Material particulado, monóxido de carbono, Óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre
	Aviões e Barcos	Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio
	Locomotivas, etc.	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos
Fontes Naturais		Material particulado - poeiras
		Gases - SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x , hidrocarbonetos
Reações Químicas		Poluentes secundários - O ₃ , aldeídos
		Ácidos orgânicos, nitratos orgânicos
		Aerossol fotoquímico, etc.

Fonte: CETESB (2002)

2.5 Escalas do Problema de Poluição do Ar

O problema da poluição do ar não é único, existem vários problemas distintos com características próprias.

Segundo *BOUBEL et al* (1984), estes problemas podem ser abordados estabelecendo as escalas de poluição do ar.

Quando o problema da poluição é abordado levando-se em consideração o quanto da superfície terrestre foi envolvida tem-se a escala horizontal em evidência.

A segunda escala seria a vertical que mede o quanto da camada de ar está sendo envolvida.

A terceira é a escala temporal que considera o decurso de tempo para o desencadear do problema, além do tempo necessário para o seu controle.

A quarta é a escala de organização necessária para a resolução do problema.

Considerando as quatro escalas apresentadas, os problemas de poluição atmosférica podem assumir as seguintes dimensões: micro (*indoor*), local, urbana, regional, continental e global.

- Micro ou *Indoor*

Limita-se a ambientes fechados como interiores de instalações ou atividades industriais.

As emissões oriundas das atividades ficam restritas ao mesmo local da fonte originária ou com alcance desprezível.

- Local

Nesta dimensão a fonte e o receptor estão muito próximos um do outro, ou seja, estão no mesmo campo de visão. Assim, a ação da poluição de uma fonte ou um conjunto destas

sobre um receptor pode ser identificada sem a necessidade específica de se aplicar um traçador.

Um exemplo seria a via principal de uma cidade com suas construções e intenso tráfego de veículos. As fontes seriam os automóveis e os receptores os ocupantes dos prédios adjacentes.

A escala horizontal do exemplo seria o trecho da via considerado. A escala vertical seria a altura dos prédios adjacentes e a escala temporal medida em minutos desde que a densidade do tráfego mude por um fator de dois em uma hora.

O tempo de controle da poluição seria longo se não houvesse mudança no tráfego, porém se o tráfego for restringido o problema seria resolvido em pouco tempo.

- Urbana

A área urbana compreende o centro da cidade e suas vizinhanças: o subúrbio e a zona rural. Nestas áreas estão concentradas inúmeras atividades humanas como as industriais e as de transportes que geram enorme quantidade de poluentes lançados na atmosfera.

A cidade concentra o maior número de fontes e por isso apresenta maior concentração de poluentes.

A concentração de poluentes no subúrbio é afetada diretamente pela cidade, porém possui níveis mais baixos de poluentes.

A zona rural possui os menores índices de poluição e por isso é considerada com concentração padrão ou *background* em relação ao centro urbano.

Os fenômenos meteorológicos estão intimamente relacionados com os problemas de poluição do ar. Numa área urbana as correntes de ar que circulam realizam o transporte de poluentes por dois mecanismos: as correntes de ar horizontais que removem a

poluição lateralmente, e as correntes de ar verticais que por meio de convecção carrega a poluição para níveis superiores da atmosfera, e ao mesmo tempo renova o ar limpo.

Estes mecanismos são os responsáveis pelo maior ou menor grau de poluição nas áreas urbanas que em determinadas situações meteorológicas podem apresentar alterações desfavoráveis naqueles mecanismos resultando em calmarias e/ou em inversões térmicas.

Quando estes dois mecanismos falham, ocorre uma estagnação atmosférica com conseqüentes episódios de poluição do ar.

- Regional

Na dimensão regional, a principal preocupação é com a qualidade do ar em áreas consideradas não poluídas. A poluição atmosférica é um problema essencialmente urbano que atingiu o ar limpo destas regiões tornando-as cada vez mais contaminadas.

Este arraste de poluentes para áreas não contaminadas ocorre devido às condições semelhantes nos mecanismos de dispersão favorecidos por fatores geomorfológicos, além de condições climatológicas ideais. Assim, as áreas não poluídas são afetadas pelas emissões de outras áreas, criando uma condição de homogeneidade com a diluição do ar poluído original.

Existem alguns fatores de poluição que são características das regiões não poluídas como, por exemplo, as queimadas dos campos e os rejeitos da agricultura, a dispersão dos excrementos animais, e de rejeitos do processamento de animais e vegetais.

A poluição gerada por estas fontes age de igual modo poluindo os centros urbanos.

Estas regiões com características climatológicas constantes, delimitadas pela topografia e pelos espaços aéreos vertical e horizontal constituem as bacias aéreas, por onde toda

a poluição dos centros urbanos irá se homogeneizar causando a sua degradação como um todo, degradando ainda o ar de áreas não ocupadas.

- Continental

O problema da poluição do ar nesta dimensão remete-se ao transporte de poluentes através das fronteiras internacionais.

Como ocorre com o transporte de óxidos de enxofre da Gran Bretanha e Alemanha para além das fronteiras das Terras do Norte, da Bélgica e da Escandinávia, onde este poluente era carregado do ar como precipitação ácida, resultando na diminuição do pH dos corpos d'água e do solo. O mesmo fenómeno tem sido observado também no nordeste dos Estados Unidos e no sudeste do Canadá (STERN *et al*, 1984).

O problema da deposição ácida envolve um grande número de fontes emissoras que agem sinergeticamente num país de modo a contaminar uma extensa massa de ar que então se move para um outro país.

Os principais poluentes envolvidos na deposição ácida são os óxidos de enxofre e os óxidos de nitrogénio, sendo estes últimos não tão eficientes quanto os primeiros na produção de chuva ácida, pois passam por diversas reações químicas intermediárias até se transformarem em ácidos. Assim, no nordeste dos Estados Unidos a chuva ácida consiste de 65% de ácido sulfúrico, 30% de ácido nítrico e os 5% restantes formados por outros ácidos (PAINTER, 1974).

- Global

A preocupação fundamental é o transporte de poluentes ao redor do globo terrestre, como acontece com o transporte estratosférico de radionuclídeos dos testes de armas

nucleares e o transporte de material particulado das erupções vulcânicas, além do transporte de outros poluentes que podem levar a mudanças significativas na atmosfera , como a redução da camada de ozônio e o aumento do efeito estufa, alterando assim o clima do planeta (KEMP, 1994).

2.6 Efeitos da Poluição Atmosférica

A poluição atmosférica causa vários efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, sobre a saúde e o bem-estar humanos, sobre os animais e a vegetação, sobre os materiais e as construções e sobre a atmosfera, solos e os corpos d'água.

O grau e a extensão destes efeitos dependem da escala de poluição, podendo ocorrer em nível local, regional e global.

Os efeitos da poluição atmosféricas têm a característica de modificar uma condição original ou normal e/ou de intensificar a incidência de um outro efeito, causando um prejuízo ou dano.

Estes efeitos causam perdas econômicas pelo aumento da ocorrência de algumas doenças (aumentando o consumo de medicamentos), diminuindo a produção agrícola, acelerando a taxa de corrosão dos metais e aumentando o custo de sua proteção, diminuindo o tempo de vida dos edifícios, construções e monumentos históricos e aumentando o custo da manutenção doméstica de roupas limpas, entre outros (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987).

De maneira geral, os efeitos podem ser classificados como: agudos, de caráter temporário e reversível, em função do aumento da concentração de poluentes como, por exemplo, a irritação nos olhos e tosse; e crônicos, de caráter permanente e cumulativos com manifestações a longo prazo, podendo causar à saúde humana intoxicações gradativas

provocando graves doenças respiratórias além de corrosão de estruturas e a degradação de materiais de construções e obras de arte(CAVALCANTI,2003).

O impacto da poluição atmosférica sobre o bem-estar humano tem sido a principal motivação para o seu estudo e controle. A poluição atmosférica afeta principalmente os sistemas respiratórios, circulatórios e oftalmológicos, sendo o sistema respiratório a principal via de entrada dos poluentes, alguns dos quais podem alterar as funções dos pulmões (STERN *et al.*, 1984).

Os efeitos atribuídos à poluição atmosférica variam desde uma simples irritação nos olhos até o caso de morte. Em geral os efeitos agravam doenças pré-existentes, tornando as pessoas mais suscetíveis às infecções ou ao desenvolvimento de doenças respiratórias crônicas (WRI,2004).

Alguns efeitos associados com poluentes específicos são mostrados na tabela 2.2 abaixo.

Tabela 2.2: Efeitos dos Poluentes à Saúde

Poluente	Efeitos à Saúde Relatados	Outros Possíveis Efeitos	Principais Fontes
Material Particulado	Aumenta mortalidade geral, pode adsorver e carrear poluentes tóxicos para as partes profundas do aparelho respiratório e, na presença de SO ₂ , aumenta a incidência e a severidade de doenças respiratórias.	Reduz a visibilidade, suja materiais e construções	Processos industriais, veículos automotores, poeiras naturais, vulcões, incêndios florestais, queimadas, queima de carvão, etc.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Agrava sintomas de doenças cardíacas e pulmonares, bronconstritor especialmente em combinação com outros poluentes, aumenta a incidência de doenças respiratórias agudas.	Tóxico para as plantas, estraga pinturas, erosão de estátuas e monumentos, Corroi metais, danifica tecidos, diminui a visibilidade, forma chuva ácida	Queima de combustíveis em fontes fixas, veículos automotores, fundições, refinarias de petróleo, etc.
Monóxido de Carbono (CO)	Interfere no transporte de oxigênio pelo sangue, diminui reflexos, afeta a discriminação temporal, exposição a longo prazo é suspeita de agravar arterioesclerose e doenças vasculares.	Desconhecidos	Veículos automotores
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Altas concentrações podem ser fatais, em concentrações baixas pode aumentar a suscetibilidade a infecções, pode irritar os pulmões, causar bronquite e pneumonia.	Tóxico para as plantas, causa redução no crescimento e na fertilidade das sementes quando presente em altas concentrações, causa coloração marrom na atmosfera, precursor da chuva ácida, participa do smog fotoquímico formando O ₃ .	Veículos automotores e queima de combustíveis em fontes estacionárias, termelétricas.
Ozônio (O ₃)	Irrita as mucosas do sistema respiratório causando tosse e prejuízo à função pulmonar, reduz a resistência a gripes e outras doenças como a pneumonia, pode agravar doenças do coração, asma, bronquites e enfisema.	Danifica materiais como a borracha e pintura, causa danos à agricultura e à vegetação em geral.	Formado na atmosfera por reações fotoquímicas pela presença de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos ou outros compostos orgânicos voláteis.

Fonte: CAVALCANTI (2003)

O principal efeito dos poluentes atmosféricos sobre os metais é a corrosão das superfícies com eventuais perdas de material e suas propriedades elétricas.

Os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre as características normais da atmosfera vão desde a diminuição da visibilidade, escala local, passando pelos problemas de deposição ácida em nível regional e continental, até os efeitos globais como aumento do efeito estufa e a redução da camada de ozônio, discutidos a seguir:

- Deposição Ácida:

A emissão de gases poluentes pelas atividades antrópicas (queima de combustíveis fósseis), principalmente os óxidos de enxofre e os óxidos de nitrogênio, leva à posterior deposição destes poluentes ácidos sobre os ecossistemas. A deposição ácida é a combinação da deposição seca e úmida, esta última comumente chamada de chuva ácida (RIBEIRO *et al.*, 2000).

Na formação da chuva ácida, conforme ilustrado na tabela 2.3, os óxidos com caráter ácido presentes na atmosfera reagem com o vapor d'água formando substâncias ácidas tais como ácido sulfúrico, ácido sulfuroso, ácido sulfídrico, ácido nítrico e ácido nitroso entre outros, que serão precipitados junto com as chuvas.

Tabela 2.3: Reações Químicas da Chuva Ácida

Óxidos de Enxofre (SO _x)	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)
I - Queima do enxofre: • $S + O_2 \rightarrow SO_2$ II - Transformação do SO₂ em SO₃: • $SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow SO_3$ III - Reações dos óxidos com água: • $SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$ • $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$	I - Reação entre N₂ e O₂ durante a combustão (devido à temperatura elevada): • $N_2 + 2O_2 \rightarrow 2NO_2$ II - Reação do óxido com água: • $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$

Fonte: MEDEIROS (2003).

A chuva que já contém óxidos como o dióxido de carbono presente na atmosfera e que forma ácido carbônico apresenta pH em torno de 5.6. Portanto, a chuva é considerada ácida para valores de pH menores do que este.

Os principais efeitos nocivos da chuva ácida são (MEDEIROS, 2003):

- Acidificação de sistemas aquáticos, principalmente lagos, do solo e de florestas com conseqüentes prejuízos para as formas de vida que ali habitam;
- Deterioração de materiais, estruturas e monumentos históricos pela intensificação da corrosão.

- Efeito Estufa

A atmosfera exerce um papel fundamental na manutenção da vida na Terra pela retenção de calor, havendo, portanto um efeito estufa natural por esta camada de gases. Este efeito natural contribuiu para manter a temperatura média do planeta em torno dos 15°C, possibilitando a existência de vida. O efeito estufa é um fenômeno onde a radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre é retida por alguns gases presentes na atmosfera. Os principais gases causadores deste efeito são: CO₂, CH₄, N₂O e CFC's (IPCC, 2001).

O aumento da concentração destes gases na atmosfera, em função dos processos de queima de combustíveis fósseis e do desflorestamento, causa uma maior retenção das radiações infravermelhas, levando a um incremento na temperatura do planeta (RIBEIRO *et al.*, 2000).

As principais consequências do aumento do efeito estufa são:

- Elevação do nível do mar;
- Alteração no suprimento da água doce;
- Mudanças climáticas;
- Alteração no processo de desertificação.
- Redução da Camada de Ozônio

Assim como o efeito estufa, a camada de ozônio é um fenômeno natural, constituindo-se de um filtro que protege o planeta das excessivas radiações ultravioletas do sol.

Algumas substâncias como os clorofluorcarbonos (CFC's) são capazes de liberar o elemento químico cloro que reage irreversivelmente com o ozônio estratosférico contribuindo para sua eliminação.

Além do cloro presente nos CFC's, os óxidos de nitrogênio, o gás halon, o metilclorofórmio e o tetracloreto de carbono são outras substâncias capazes de provocar o mesmo efeito (BOUBEL *et al.*, 1984; MANAHAN, 2000).

A diminuição da camada de ozônio acaba por permitir a passagem das radiações ultravioletas indesejáveis podendo causar na saúde humana aumento da incidência de câncer de pele, doenças oftalmológicas como catarata, além de causar efeitos nocivos aos ecossistemas, fauna e a flora.

2.7 Abordagem Meteorológica da Poluição Atmosférica

Quando os gases lançados pelas chaminés entram na atmosfera, as condições externas tais como pressão, temperatura, umidade, direção e velocidade dos ventos começam a afetá-los. Todos estes fatores meteorológicos, variáveis no tempo e no espaço aliados aos fatores topográficos, afetam diretamente a dispersão e o transporte dos poluentes.

A atmosfera terrestre está em constante movimento, principalmente como resultado da travessia da luz solar que gera um balanço térmico não uniforme. Assim os parâmetros meteorológicos variam consideravelmente com a localização, altitude e tempo (STERN *et al.* 1984).

O perfil de temperatura vertical que se forma influencia diretamente a dispersão dos poluentes. A temperatura na troposfera em geral diminui com o aumento da altitude, em uma

média de 4°C a 8°C por quilômetro. Entretanto nas camadas inferiores da atmosfera, entre o primeiro e o segundo quilômetro, a temperatura pode aumentar com a variação da altitude por um determinado período de tempo. Este efeito térmico é conhecido como inversão térmica (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997).

Estes gradientes de temperatura dão origem aos movimentos verticais ascendentes e descendentes das massas de ar que afetam o clima e os processos de mistura dos poluentes na atmosfera.

Quando a atmosfera resiste a estes movimentos verticais têm-se um estado de estabilidade. Caso contrário, um estado de instabilidade (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997).

Além dos movimentos verticais das massas de ar mencionados, devem-se considerar, na análise de transporte e dispersão dos poluentes, os movimentos horizontais causados pela direção e velocidade dos ventos.

A velocidade e direção dos ventos determinam a concentração dos poluentes em torno das fontes, seu alcance e trajetória.

O movimento do ar originando os ventos surge em função da existência de regiões com diferentes pressões. Zonas com pressões altas ou baixas possuem sistemas de ventilação diferenciados (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997).

Geralmente o movimento do ar nas camadas inferiores da atmosfera ocorre das regiões de alta pressão para as regiões de baixa pressão. Esta convergência causa a movimentação das camadas de ar resultando num aumento da taxa de ventilação.

Quando a taxa de ventilação torna-se muito baixa, em função da diminuição do gradiente de pressão, ocorre a estagnação do ar, o que contribui para o aumento da concentração de poluentes na atmosfera (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997).

O mais importante processo de mistura na atmosfera que causa a dispersão dos poluentes é a turbulência. Este processo é originado pela alta movimentação irregular dos ventos, que

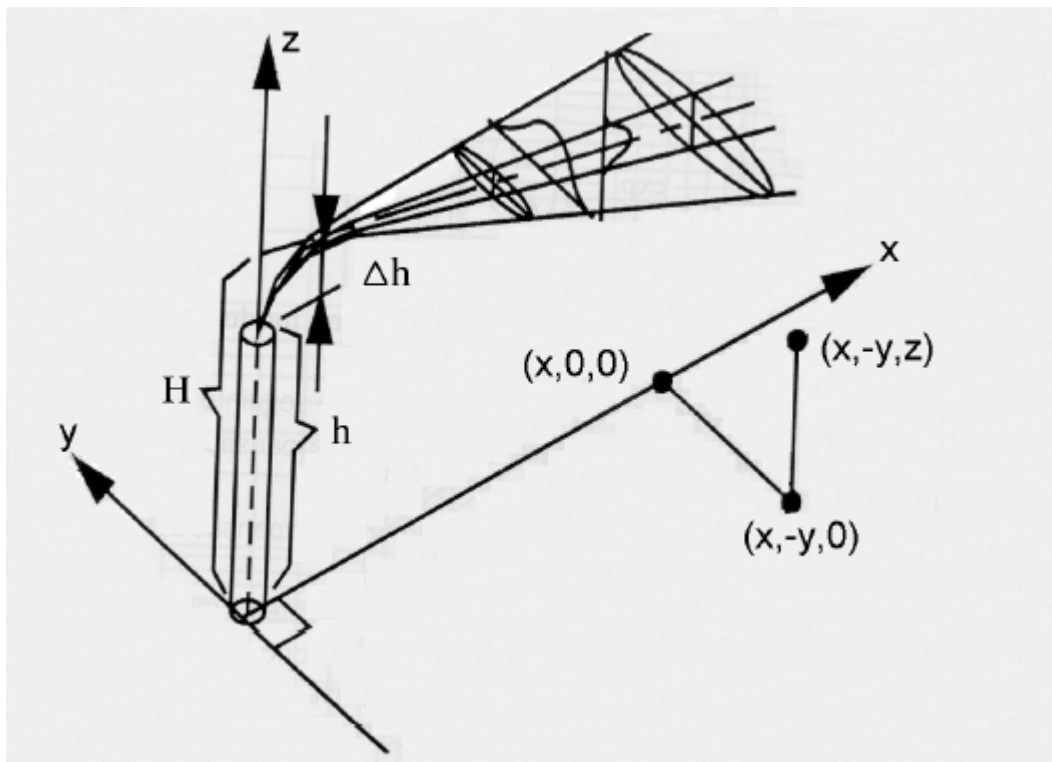
contribui grandemente para a mistura de parcelas de ar poluído e não poluído favorecendo assim a diluição dos poluentes (STERN *et al.* 1984; HONKIS, 1977).

Todos estes fatores meteorológicos são importantes quando se deseja realizar estudos de dispersão de poluentes. Para tanto, a estimativa da concentração de poluentes pode ser obtida a partir da utilização de equações empíricas formadoras dos modelos matemáticos de dispersão. Estes modelos são as principais ferramentas utilizadas atualmente para se estimar o comportamento de uma pluma de dispersão.

O modelo mais utilizado é o que considera a dispersão da pluma de uma fonte com emissão contínua uma distribuição normal ou Gaussiana (MEDEIROS, 2003).

Este modelo emprega um sistema tridimensional de eixos coordenados para descrever a distribuição da pluma. Deste modo, o eixo x relaciona-se com a direção do vento ou percurso da pluma, o eixo y indica a sua distribuição perpendicular ao eixo x, e o eixo z corresponde à vertical com referência ao nível do solo conforme mostra a figura 2.2 abaixo.

Figura 2.2: Modelo de Pluma



Fonte: MEDEIROS (2003).

O modelo Gaussiano assume que a concentração de poluentes na pluma é proporcional à taxa de emissão e inversamente proporcional à velocidade do vento. Considera também que os poluentes atmosféricos não sofrem transformações químicas ou outros processos de remoção ao longo do seu percurso.

Segundo BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987), a determinação da concentração da poluição atmosférica está baseada nos trabalhos de Sutton (1932), e Bosanquet e Pearson (1936), sendo posteriormente modificados por outros autores.

Atualmente a equação mais aceita e amplamente utilizada é a desenvolvida por Pasquill (1971), que considera a distribuição dos poluentes de uma fonte contínua ao longo do eixo horizontal com comportamento normal, onde a concentração pode ser obtida por:

$$c(x,y,z,H) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (2.1)$$

Onde:

- c – concentração do poluente em qualquer ponto de coordenadas (x,y,z), g/m³;
- Q – Taxa de emissão uniforme, g/s;
- H – altura efetiva de emissão dos poluentes, m;
- u – velocidade média do vento, m/s;
- σ_y – coeficiente de dispersão horizontal, m;
- σ_z – coeficiente de dispersão vertical, m;
- x, y e z – coordenadas do ponto.

2.8 Transformações Químicas dos Poluentes na Atmosfera

Os poluentes lançados na atmosfera passam por constantes processos de modificações, sejam eles físicos, pela dinâmica de fenômenos atmosféricos, como descritos anteriormente, ou químicos, pela ocorrência de inúmeras reações.

As principais transformações químicas que ocorrem na atmosfera são os processos gerais de oxidação (BAIR, 2002; HONKIS, 1977).

PARTER (1978) classifica as transformações químicas em fotoquímicas e térmicas. As reações fotoquímicas resultam da interação de fótons de energia com espécies capazes de absorvê-los (espécies fotoaceptores), como os aldeídos, dióxido de nitrogênio, ácido sulfúrico e o ozônio, originando produtos muito reativos (radicais livres) que tomarão parte nas reações químicas subsequentes. Estas reações químicas subsequentes são as reações térmicas.

O processo de formação de radicais livres, a fotodissociação, depende diretamente da capacidade de absorção da energia solar com comprimentos de onda entre 290 nm a 700 nm por parte das moléculas participantes para a formação de radicais livres tais como: oxigênio atômico, hidrogênio atômico, hidroxila e do radical peróxido (PARTER, 1978).

Na troposfera, as transformações químicas envolvem a oxidação de hidrocarbonetos, de monóxido de nitrogênio e dióxido de enxofre com a produção de produtos oxigenados como os aldeídos, dióxido de nitrogênio e o ácido sulfúrico. Estas espécies oxigenadas tornam-se assim os poluentes secundários formados a partir das emissões primárias de fontes naturais ou antropogênicas (STERN *et al.*, 1984).

As transformações químicas também podem ser classificadas como homogêneas, se ocorrem em uma única fase como no meio gasoso, ou heterogênea se envolverem reações de fases gás-líquido e gás-sólido (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987).

Assim, as transformações químicas podem ocorrer na fase gasosa, formando produtos secundários como o NO_2 e o O_3 , na fase líquida como a oxidação do SO_2 em gotas líquidas ou filmes aquosos e como conversões gás-partícula na qual o produto oxidado condensa para formar um aerossol.

Entre as substâncias que absorvem radiação ultravioleta estão os dióxidos de enxofre e nitrogênio e os aldeídos. A radiação ultravioleta excita as moléculas destes compostos que reagem com o oxigênio atmosférico produzindo o oxigênio atômico, extremamente reativo.

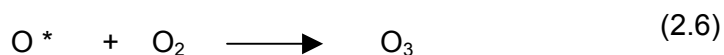
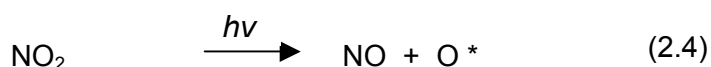
O dióxido de enxofre absorve radiação nos comprimentos de onda de 290 nm a 400 nm, de maneira que a oxidação a trióxido na atmosfera é mais rápida sob a influência solar. A reação pode ser descrita pela equação química abaixo (STERN *et al.*, 1984):



Os aldeídos reagem de maneira análoga:



Nas reações do dióxido de nitrogênio a absorção da radiação ultravioleta conduz à destruição da ligação dos átomos de oxigênio atômico e a formação de oxigênio atômico e monóxido de nitrogênio. Reações subsequentes levam a formação do oxigênio molecular, ozônio e a regeneração do dióxido de nitrogênio, como representado nas equações abaixo (STERN *et al.*, 1984):



O dióxido de nitrogênio regenerado entra novamente no processo que pode ser repetido várias vezes antes de se transformar em ácido nítrico ou reagir com substâncias orgânicas

para formar nitrocompostos. Uma baixa concentração de dióxido de nitrogênio na atmosfera leva a um aumento considerável de oxigênio atômico e de ozônio o que contribui para a formação do *smog* fotoquímico.

O termo *smog* é a combinação das palavras *smoke* e *fog* e é usado para caracterizar um estado atmosférico com diminuição da visibilidade em função do alto nível de emissão de poluentes, tais como: NO₂, O₃, SO₂, H₂SO₄, PAN, e aldeídos (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987).

Existem dois tipos básicos de *smog*: o *smog* por redução, típico de grandes áreas industriais como Londres e o *smog* fotoquímico, típico de áreas como Los Angeles.

O *smog* de redução é o estado atmosférico que ocorre em grandes áreas industriais e, é uma mistura de fumaça, fuligem e dióxido de enxofre. As condições meteorológicas ótimas para sua ocorrência são: temperatura perto de 0°C, alta umidade acompanhada de um estado de inversão atmosférica e alcança seu nível máximo pela manhã.

O *smog* fotoquímico alcança seu nível máximo ao meio dia, a temperatura entre 24°C e 32°C e condições de baixa umidade.

As reações de hidrocarbonetos com o ozônio são também importantes na formação do *smog* fotoquímico. Hidrocarbonetos insaturados com 5 e 6 carbonos (1-penteno, 1-hexeno) são os mais importantes na formação do *smog* e causam grande prejuízo para a vegetação.

Os aldeídos e cetonas também sofrem reações fotoquímicas com a geração de muitos radicais livres que reagem rapidamente com o oxigênio atmosférico para produzir peróxidos e ácidos orgânicos.

As olefinas com um grande número de ligações duplas também reagem fotoquimicamente formando radicais livres. Algumas substâncias inorgânicas contribuem para a formação destes radicais livres. Com o oxigênio do ar alguns radicais podem formar peroxicompostos produzindo novos peróxidos e mais radicais livres capazes de polimerizar as olefinas ou serem uma nova fonte de ozônio (PAINTER, 1974).

Todas estas reações atmosféricas são fortemente influenciadas pela quantidade de partículas sólidas suspensas e por suas propriedades. Na superfície destas partículas é que ocorrem as reações químicas, agindo assim como catalisadores. Influenciam também na absorção da luz pela adsorção de gases afetando a intensidade das reações fotoquímicas.

Do ponto de vista da proteção atmosférica, algumas destas reações são favoráveis por produzirem poluentes menos nocivos e prejudiciais ao bem estar humano e a biosfera. Entretanto, o produto de algumas destas reações, os poluentes secundários, são mais tóxicos do que os reagentes como, por exemplo, os peroxacetil nitrato (PAN).

Em resumo, a atmosfera como sistema ambientalmente integrado possui um dinamismo implacável às ações intensificadoras das atividades humanas com manifestações muitas vezes catastróficas e, outras ainda, até então desconhecidas.

Estas manifestações, em qualquer das escalas mencionadas no texto, requerem um cuidado ou tratamento das ações de liberação de poluentes para que seus efeitos sejam minimizados.

O homem, dependente que é dos recursos fósseis naturais, buscou o desenvolvimento de instrumentos de controle e gestão do ambiente atmosférico como meio de minimizar os rejeitos inerentes às suas atividades.

Inserido neste contexto, o capítulo seguinte aborda a poluição atmosférica sob o ponto de vista da gestão ambiental, apresentando os principais instrumentos atualmente empregados.

Capítulo 3: Gestão da Poluição do Ar

3.1 Considerações Gerais

O objetivo do controle da poluição do ar é preservar a saúde e o bem-estar do homem, no presente e no futuro. Além da proteção das plantas e dos animais, a prevenção das propriedades físicas do meio natural e das interferências ao seu uso normal e satisfatório assegurando assim um desenvolvimento econômico contínuo e a manutenção do meio ambiente (STEWART, 1979; BOUBEL *et al.*, 1984).

O controle da poluição atmosférica consiste principalmente na redução das emissões de poluentes primários para a atmosfera por serem estes causadores originais de efeitos adversos e os precursores dos poluentes secundários formados a partir de reações químicas, como discutido no capítulo anterior.

A abordagem do problema do controle da poluição atmosférica considera dois aspectos fundamentais: o estratégico e o tático (STERN *et al.*, 1984).

O primeiro consiste no desenvolvimento de estratégias de longo prazo para a evolução dos níveis de poluição em todas as escalas em que o problema da poluição surgir, desde a escala local até a escala global.

O objetivo pode ser o estabelecimento de metas de melhorias da qualidade do ar de uma região num período de 5, 10 ou 15 anos, e para tal planos devem ser traçados para atingir tais metas.

O outro aspecto na abordagem da redução da poluição atmosférica é o controle em curto prazo de episódios de poluição que geralmente ocorrem na escala urbana.

É classificado como tático porque enfatiza um episódio de poluição.

Nesse caso, um cenário tático deve ser montado para prevenir que o episódio se torne um desastre: temporariamente se controlam as emissões; planos devem ser rapidamente implantados e mantidos durante o período do episódio. Após a garantia de que o episódio foi encerrado, estratégias de longo prazo devem ser estabelecidas (CAVALCANTI, 2003).

Dentre os vários tipos de estratégias existentes para o controle da poluição do ar uma das mais empregadas é o gerenciamento da qualidade do ar baseada em padrões de qualidade do ar.

Uma outra estratégia também bastante difundida é o padrão de emissão. Nesta estratégia um padrão de emissão é o desenvolvido e promulgado ou um limite de emissão

é determinado caso a caso, representando a melhor prática para o controle de emissões de fontes.

Existem ainda algumas estratégias de controle que adotam incentivos fiscais como taxas e cotas usualmente empregadas em conjunto com as estratégias de gerenciamento da qualidade do ar.

Além destas duas estratégias amplamente difundidas, este capítulo abordará os principais instrumentos, tais como: monitoramento da qualidade do ar, monitoramento de fontes, controle tecnológico de fontes e o licenciamento ambiental, utilizados atualmente no controle e gerenciamento da poluição do ar causada por fontes estacionárias.

3.2 Padrões de Qualidade do Ar

Padrão de qualidade do ar é um nível de referência¹ estabelecido legalmente através de um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que assegure a saúde e o bem estar das pessoas.

São baseados em estudos científicos que averiguam os efeitos produzidos pelos poluentes e são fixados em níveis tais que possam propiciar uma margem de segurança adequada (WILKINSON *et al.*, 1987; CETESB, 2001).

O *Clean Air Amendments* de 1977 define dois tipos de padrões de qualidade do ar (EPA, 1997a).

- Padrões primários: definem concentrações de poluentes que protegem exclusivamente a saúde da população.
- Padrões secundários: definem as concentrações de poluentes que protegem o bem estar da população, a fauna a flora e o meio ambiente em geral.

Define ainda um nível de qualidade do ar (conhecido por “prevenção de deterioração”) que não pode ser excedido numa área geográfica específica. Embora seja chamado de “incremento” sobre a linha de base da qualidade do ar, é na realidade um padrão terciário.

¹ Nível de Referência é o parâmetro utilizado para diferenciar o ar poluído daquele não poluído, sendo o nível de poluição medido pela quantificação das substâncias poluentes presentes neste ar. Os níveis de referência fornecem suporte para determinar as relações entre as emissões dos poluentes (padrão de emissão) e os efeitos sobre o meio ambiente (padrão de qualidade) (CAVALCANTI, 2003).

Exprime, portanto, a diferença entre o nível atual da qualidade do ar e o padrão primário ou secundário.

Na implementação destes padrões, a EPA² exige que os estados da federação apresentem um plano, conhecido como Plano de Implementação Estadual, mostrando como o estado pretende alcançar os padrões estabelecidos, num período determinado.

No entanto se no tempo determinado existirem áreas onde os padrões não foram alcançados (áreas não atendidas), o estado deverá submeter à EPA um novo plano de ação para estas áreas.

No Canadá, os objetivos da qualidade do ar refletem três intervalos de qualidade do ar ambiental para muitos poluentes, conforme mostra tabela 3.2.

O intervalo “tolerável” demonstra um nível de concentração de poluentes que requer uma medida de controle imediata. O segundo intervalo “aceitável” necessita de proteção contra efeitos adversos. E o terceiro “desejável” define os objetivos em longo prazo para a qualidade do ar e serve de base para políticas futuras, como área não poluída (STERN *et al*, 1984).

Tabela 3.2: Padrões da Qualidade do Ar no Canadá

Concentração de Poluente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Intervalo Desejado	Intervalo Aceitável	Intervalo Tolerável
▪ Dióxido de enxofre			
Média horária	0 - 450	4050 - 900	-
Média diária	0 - 150	150 - 300	300 - 800
Média aritmética anual	0 - 30	30 - 60	-
▪ Material Particulado			
Média diária	-	0 - 120	120 - 400
Média geométrica anual	0 - 60	60 - 70	-
▪ Oxidantes (Ozônio)			
Média horária	0 - 100	100 - 160	160 - 300
Média diária	0 - 30	30 - 50	-
Média aritmética anual	-	0 - 30	-
▪ Dióxido de Nitrogênio			
Média horária	-	0 - 400	400 - 1000
Média diária	-	0 - 200	-
Média aritmética anual	0 - 60	60 - 100	-
▪ Monóxido de Carbono			
Média horária	0 - 15	15 - 35	-
Média de 8 horas	0 - 6	6 - 15	15 - 20

Fonte: Adaptado do STERN (1984)

²EPA: United States Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental Americana

3.2.1 Padrões de Qualidade do Ar no Brasil

No Brasil, a Resolução CONAMA 05/89 considera a necessidade de adoção de padrões nacionais de qualidade do ar como ação complementar e referencial aos limites máximos de emissão estabelecidos (CONAMA, 1989).

Considera, portanto, os padrões de qualidade do ar como instrumentos de apoio e operacionalização do PRONAR³.

A resolução CONAMA 03/90 regulamentou, no Brasil, os padrões de qualidade do ar para os seguintes parâmetros: partículas totais em suspensão, fumaças, partículas inoculas, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio, cujos limites estão resumidos na tabela 3.3 (CONAMA, 1990).

Tabela 3.3: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150
	Anual - MGA	80	60
Dióxido de enxofre	24 horas (1)	365	100
	Anual - MAA	80	40
Monóxido de carbono	1 hora (1)	40.000	40.000
	8 horas corridas (I)	10.000	10.000
Ozônio	1 hora	160	160
Fumaça	24 horas (1)	150	100
	Anual - MAA (3)	60	40
Partículas inaláveis	24 horas (1)	150	150
	Anual - MAA (3)	50	50
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1)	320	190
	Anual - MAA (3)	100	100

Fonte: CETESB (2002)

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

(2) Média geométrica anual

(3) Média aritmética anual

Os padrões brasileiros seguem a mesma classificação dos padrões americanos, podendo ser de dois tipos: primários e secundários (OLIVEIRA, 1997):

³ PRONAR: Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar instituído pela Resolução CONAMA 05/89

- “Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população” (CONAMA, 1990a);
- “Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo dos quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, a flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral” (CONAMA, 1990a).

Os padrões primários são níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo em metas de curto e médio prazo.

Os padrões secundários são níveis desejados de concentrações de poluentes constituindo-se em metas de curto prazo.

A Resolução CONAMA 05/89 prevê ainda que para a implementação de uma política de não deterioração significativa da qualidade do ar em todo o território nacional é necessário o enquadramento de suas áreas em três classes distintas, conforme a uso pretendido, quais sejam:

- Classe I: áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais.
Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica.
- Classe II: Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade.
- Classe III: Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade.

Assim, a adoção diferenciada dos padrões está vinculada à definição das áreas de Classe I, II e III pelo Estado.

Enquanto não for estabelecida a definição das áreas, os padrões primários serão adotados, conforme a Resolução 03/90.

A resolução 03/90 considera também a definição de níveis de qualidade do ar caso ocorram episódios críticos ou agudos de poluição do ar.

Define, portanto, os níveis de atenção, alerta e emergência, conforme apresentado na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Critérios para Caracterização de Episódios Agudos de Poluição do Ar

Parâmetros	Período	Concentrações Limite		
		Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 horas	800	1600	2100
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 horas	375	625	875
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 horas	65000	261000	393.000
Monóxido de carbono (ppm)	8 horas	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 hora	400	800	1000
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 horas	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 horas	250	420	500
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 hora	1130	2260	3000
Fonte: CETESB (2002)				

3.2.2 Critérios de Qualidade do Ar

O objetivo do controle da poluição atmosférico é prevenir os humanos, os animais, os vegetais, os materiais de efeitos adversos.

Estes efeitos adversos apresentam tempo de resposta característico: curto período (segundos ou minutos), período intermediário (horas ou dias) e de longo período (meses ou anos).

Para não haver manifestações de efeitos prejudiciais a concentração de poluentes no ar deve estar abaixo do nível de concentração no qual estas respostas ocorrem.

Os critérios de qualidade do ar são relações de causa-efeito, obtidos experimentalmente das observações da exposição a vários níveis de um poluente específico, utilizados para a definição dos padrões de qualidade do ar (STERN *et al*, 1984).

Os critérios de qualidade do ar podem referir-se a diferentes efeitos para um único poluente, como mostra a tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.1: Critérios de Qualidade do Ar para o Monóxido de Carbono

Percentagem de carboxihemoglobina no sangue (CoHb)	Sintomas humanos associados com o nível de CoHb
80	Morte
60	Perda de consciência; morte se houver exposição contínua.
40	Colapso das funções motoras; confusão mental.
30	Dores de cabeça, fadiga, distúrbio decisórios.
20	Prejuízo no sistema cardiovascular, anormalidades e teto cardiográficos.
5	Declínio (linear com o aumento do nível de CoHb) no nível máximo de oxigênio necessário para um indivíduo adulto sob esforço físico, prejuízo na percepção visual e habilidades manuais
4	Diminuição na habilidade de detectar mudanças num ambiente, diminuição da performance física em indivíduos saudáveis e em indivíduos com doenças pulmonares crônicas.
2,5	Agravamento de doenças cardiovasculares

Fonte: STERN (1984)

Estes critérios estipulam as condições de exposição e devem ser determinados em observações de grupos ou populações sensíveis a um único poluente ou ao efeito conjunto de vários poluentes.

Eles descrevem os efeitos que devem ser esperados se o nível de determinado poluente no ar alcança ou excede uma concentração específica num período de tempo.

O estabelecimento destes critérios é um processo dinâmico e, portanto, passível de ocorrer mudanças na medida em que novas informações tornam-se disponíveis.

No desenvolvimento das relações causa-efeito inferidos da poluição do ar deve-se tomar o cuidado para não se atribuir à poluição atmosférica os efeitos cujas origens devem-se a outros fatores externos (STERN *et al*, 1984; STEWART, 1979).

Assim, a degradação de um material devido à poluição deve ser distinguida da degradação devido à ação da radiação ultravioleta, umidade, geada, bactéria e fungo.

Da mesma forma, a poluição da visibilidade na atmosfera nem sempre deve ser atribuída à poluição do ar.

A interferência destes fatores externos é minimizada com a realização de experimentos laboratoriais que conduzem ao estabelecimento de relações diretas de causa-efeito entre a concentração de poluentes e o efeito produzido.

Os critérios de qualidade do ar para os humanos não são estabelecidos a partir de experimentos, as relações de causa-efeito estão baseadas na extrapolação da experimentação animal, na observação clínica de casos de pessoas expostas a poluentes e, principalmente, nos dados epidemiológicos de morbidade e mortalidade por poluição atmosférica.

Não existem doenças humanas causadas exclusivamente por poluição atmosférica (STEWART, 1979). Entretanto a poluição atmosférica pode exacerbar o estado de doenças pré-existentes.

3.2.2.1 Critérios para Efeitos Físicos:

Os critérios originários de efeitos físicos estão essencialmente baseados em considerações estéticas que avaliam, por exemplo, o grau de tolerância de uma comunidade diante de um evento como diminuição da visibilidade da atmosfera. Portanto, com um peso subjetivo muito forte.

A poluição afeta as propriedades da atmosfera, sendo a principal destes efeitos as mudanças na habilidade de transmissão de energia solar.

As regiões mais importantes no processo de transmissão da energia solar são: a região ultravioleta, com seus efeitos sobre os processos biológicos e sobre as reações fotoquímicas; e a região visível, que afeta a visibilidade e a crescente necessidade de iluminação artificial.

As mudanças no espectro ultravioleta têm levado as pessoas a mudarem seus hábitos alimentares com a introdução na dieta de suplementos para compensar a perda na

produção natural de vitamina D. A energia da região ultravioleta que não foi absorvida e/ou dissipada pela poluição deveria ter sido usado para a produção da vitamina.

Os mesmos poluentes que absorvem e dissipam a energia ultravioleta podem absorver e dissipar a luz visível com a conseqüente diminuição da visibilidade na atmosfera.

Os dois processos acima descritos possuem custos associados sejam na aquisição de suplementos vitamínicos ou no aumento da necessidade de iluminação artificial.

Entretanto os custos envolvidos no estabelecimento dos padrões de qualidade do ar são aqueles cujas considerações estéticas prevaleçam.

O nível de um determinado poluente escolhido para ser um padrão de qualidade do ar deve ser obviamente menor do que o nível deste poluente num estado de visibilidade aceitável, por exemplo. Entretanto, se este nível escolhido for menor do que o nível necessário para se prevenir efeitos negativos sobre a saúde dependerá dos padrões estéticos da jurisdição.

3.2.2.2 Critérios para Efeitos Biológicos

O processo de desenvolvimento das relações causa-efeito entre os níveis de poluição e os efeitos causados por estes níveis deve ser crítico para se estabelecer a existência e o nível de extensão destas relações.

Estas relações tornam-se às vezes obscuras e difíceis de serem reconhecidas na interpretação de dados de morbidade e mortalidade sobre pessoas, plantas e animais expostos a uma multiplicidade de efeitos adversos, incluindo a poluição atmosférica, em decorrência de medidas inadequadas.

A experimentação usada para a determinação das relações causa-efeito está inscrita em uma série de argumentações sobre a extrapolação dos dados obtidos para a espécie humana e sobre a compatibilidade das condições experimentais com a atmosfera real onde os processos vitais ocorrem.

Outra questão relevante é a existência, dentro de uma mesma espécie, de graus variados de resistência e susceptibilidade a determinados poluentes atmosféricos que acabam por dificultar a fixação de limites.

No caso da espécie humana, os níveis de poluição limitantes devem estar condicionados a saúde e bem estar das crianças, idosos e doentes que são os grupos reconhecidamente mais sensíveis aos efeitos da poluição atmosférica.

Entre a população adulta deve-se reconhecer a existência de limitações fisiológicas, resistências e suscetibilidades diferenciadas. Assim, um nível de poluição pode interferir na demanda de oxigênio utilizado por atleta impedindo-o de quebrar um *record* e não ter feito algum na diminuição da performance de um trabalhador sedentário.

STEWART (1979) assinala que os critérios relativos aos efeitos sobre a saúde humana possuem uma variação ambígua, motivo de desacordos entre especialistas sobre sua validade e interpretação. Assim, os critérios adotados podem levar padrões de qualidade do ar distintos. Ressalta, portanto a necessidade de realização de pesquisas contínuas nesta área a fim de se obterem resultados confiáveis e a ação criteriosa na adoção de um limite.

3.2.3 Procedimentos Alternativos para o Estabelecimento dos Padrões de Qualidade do Ar

Os padrões de qualidade do ar, segundo STERN (1984), podem ser estabelecidos a partir dos critérios de qualidade do ar, com base científica, e por alguns fatores e ou abordagens subjetivas.

A primeira abordagem usa os dados de qualidade do ar de uma comunidade, uma região, estado ou país como referência no estabelecimento de seu próprio padrão.

Nessa abordagem, a comunidade “A” diz: “Nós estaremos satisfeitos se a qualidade do ar de nossa região for tão boa quanto a existente na comunidade” B “. O conhecimento da qualidade do ar na comunidade” B “fornece então, os padrões para a comunidade” A “.

A segunda abordagem toma como referência o estado da qualidade do ar num período de tempo passado onde os efeitos adversos da poluição eram inexistentes ou toleráveis pela comunidade. Assim, a comunidade diz: “Estaremos satisfeitos se a qualidade do ar aqui for igual a que havia em 1940”. Se houver dados sobre a qualidade do ar para tal período – o que usualmente não ocorre – o padrão estará determinado.

Uma terceira abordagem usa como padrão a qualidade do ar de uma comunidade num dia de boas condições meteorológicas: boa ventilação. Desta forma a comunidade diria: “Estaremos satisfeitos se a nossa qualidade do ar for tão boa quanto a de um determinado dia”. Com o conhecimento da qualidade do ar daquele dia, determinam-se os padrões de qualidade.

3.3 Padrões de Emissão

Padrão de emissão é um limite da qualidade ou concentração de um poluente, estabelecido legalmente, emitido por uma fonte (BOUBEL *et al*, 1984). Qualificam, portanto, o nível máximo de emissão de um determinado poluente na fonte. Podem ser classificados como subjetivos ou objetivos.

Os padrões de emissão podem ser determinados a partir dos padrões de qualidade do ar e de considerações sobre o processo, o equipamento e o combustível. Algumas vezes refletem também considerações econômicas, sociais e políticas em adição às tecnológicas.

Em alguns casos, o controle, tecnológico de um poluente é possível de se realizar, porém por razões sociais, políticas e/ou econômicos, este não é efetuado. Em contra-partida, as considerações sociais, econômicas e políticas, na forma de pressão, para a regulação mais restritiva de algumas emissões não ganham definição por haver inadequação tecnológica.

3.3.1 Padrões Subjetivos

Estão baseados na aparência visual e no odor da emissão.

Um exemplo típico é a medição da pluma através da coloração da fumaça por meio de comparação com a Escala de Ringelmann.

Esta escala foi um dos primeiros instrumentos de auxílio para medir as emissões da poluição atmosférica.

Foi desenvolvido em 1897 pelo engenheiro francês Maximillian Ringelmann (PAINTER, 1974).

Inicialmente foi utilizada para se avaliar a eficácia dos processos de combustão, tornando-se mais tarde um instrumento legal para determinar se a fumaça das emissões estavam dentro dos limites estabelecidos pelos padrões de emissão.

A escala apresenta uma graduação crescente do cinza claro ao preto, com cinco tonalidades. A cada cor está associado um número que expressa a porcentagem da densidade da pluma.

Antes da utilização da Escala de Ringelmann como instrumento de regulação a proibição da emissão de “fumaça preta” era o parâmetro mais utilizado no controle da poluição (PARTER, 1978).

Atualmente a Escala de Ringelmann está em desuso por ter um caráter subjetivo muito acentuado em sua avaliação. Entretanto, métodos mais objetivos como o da fotocélula, baseado na diminuição da intensidade do feixe de luz ao atravessar a pluma, tem sido desenvolvido e empregado (PARTER, 1978).

As avaliações feitas a partir do odor da pluma apresentam-se com caráter subjetivo ainda mais aguçado.

A dificuldade na avaliação decorre do fato do fenômeno de saturação do olfato após um período de exposição do indivíduo que perde a habilidade de perceber a continua presença de baixas concentrações do odor. Em geral este problema é solucionado expondo o indivíduo avaliador em ambiente livre de odor característico por tempo suficiente para promover a instauração do seu sistema perceptivo.

3.3.2 Padrões Objetivos

Derivam de medições diretas das emissões.

Existem duas categorias principais para estes padrões: aquelas cujo limite de emissão de um poluente específico independe do processo ou equipamento do qual é emitido, e aquela cujo limite de emissão de um poluente específico depende do processo e do tipo de equipamento do qual é emitido.

Os limites objetivos podem ser expressos em termos absolutos, como: massa do poluente por unidade de tempo, ou em termos relativos, como: massa do poluente por massa de combustível queimado, ou massa de material processado ou massa de produto gerado (produção), ou ainda por massa de calor liberado no processo.

No caso de poluentes gasosos, os limites devem ser fixados em termos volumétricos e não gravimétricos, acompanhados das respectivas temperaturas e volumes do processo.

Algumas vezes os limites são fixados por massa de poluente por unidade de volume do poluente gasoso. Porém o volume de efluente gasoso varia com a temperatura, pressão e com a diluição do ar. Assim neste tipo de expressão é importante especificar a temperatura, a pressão e a porcentagem de ar diluente. No caso de gases efluentes do processo de combustão, a diluição é usualmente expressa em porcentagem de excesso de carbono no gás efluente.

3.3.3 Abordagens Empregadas no Desenvolvimento dos Limites de Emissão

3.3.3.1 – Derivação de Considerações sobre o Processo e Equipamento

Neste tipo de abordagem a fixação dos limites de emissão origina-se da resposta à seguinte questão (BOUBEL *et al*, 1984; STERN *et al*, 1984):

“Quais são as emissões oriundas de plantas industriais bem construídas e bem operadas?”.

A resposta desvenda a performance ótima que será utilizada como referência para todas as plantas de mesma tipologia.

O critério mais comumente utilizado para o desenvolvimento dos limites de emissão é aplicação do princípio: *best practicable means for control* (a maneira mais viável para o controle).

A palavra “viável” não se limita somente ao aspecto tecnológico, se estendendo também ao aspecto econômico, sociológico e político.

Sob este princípio o grau de limitação das emissões que é alcançado com o emprego do melhor projeto e operação fixa os limites de emissões para todas instalações da categoria.

Numa abordagem análoga, o primeiro passo é determinar para uma tipologia com classificação gradual de sua performance em boa ou ruim, a carga de gases poluentes que é liberada sem passar por qualquer equipamento de controle.

O próximo passo será a verificação das emissões caso sejam utilizadas equipamentos de controle adequados.

O resultado dependerá da eficiência assumida para o conjunto de equipamentos de controle adequados.

Sabe-se, portanto que o antigo adágio: “pode-se ter tanto controle quanto se desejar pagar por ele” (STERN *et al*, 1984), torna-se o parâmetro para se assumir a eficiência do controle em alta ou baixa.

Uma boa maneira de se contornar a situação é assumir que o melhor controle disponível aplicado à planta seja o de maior eficiência, mesmo sabendo que se trata de uma hipótese.

Uma vez que o processo de desenvolvimento tecnológico é dinâmico, o que é considerado a maneira mais viável hoje poderá se tornar obsoleta num futuro próximo.

Isto gera uma busca incessante para se alcançar o “alvo móvel da melhor tecnologia”, que deve ser balizada com procedimentos administrativos capazes que oferecerem uma margem de conformidade às instalações.

Uma variante do princípio “a maneira mais viável para o controle” assinalada no *Clean Air Act* de 1977 é a aplicação da “melhor tecnologia de controle disponível” (BACT⁴) para poluentes específicos empregados em fontes atendidas pelo *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS)(WILKINSON,1987;EPA, 2002).

Entretanto, pode ser empregado para poluentes não previstos pelos NAAQS, mas que sejam contemplados pelo Padrão de Funcionamento de Novas Fontes (*New Source Performance Standard* – NSPS), como o caso das emissões de enxofre reduzido. Nestes casos, porém o emprego do BACT deve ser mais restrito quanto às emissões, e determinado caso a caso.

Outra variante é o uso da “mais baixa taxa de emissão alcançável” (LAER⁵) para um poluente específico aplicada a novas fontes a serem alocadas em áreas atendidas, ou áreas que não atendem ao NAAQS para aquele poluente.

O LAER é a mais baixa taxa de emissão alcançada em qualquer lugar sem considerar o custo ou uso de energia. Tem a tendência de ser mais restrita do que a BACT ou NSPS, e também é determinado caso a caso.

É importante notar que a aplicação do princípio: “a maneira mais viável para o controle” das emissões fixa limites de emissão sem considerar a qualidade do ar presente, ou os padrões de qualidade do ar para os poluentes envolvidos, o número e a locação das fontes afetadas pelos limites, além das condições meteorológicas e topográficas da área onde estas fontes estão instaladas.

⁴ BACT equivale a Best Available Control Technology

⁵ LAER equivale a Lowest Achievable Emission Rate

3.3.3.2 - Derivação da Abordagem Rollback

Esta abordagem assume que a emissão de determinado poluente e sua concentração na atmosfera são linearmente dependentes, isto é, uma redução na porcentagem da emissão resultará em uma redução similar na concentração atmosférica.

No procedimento para se estabelecer os padrões de emissão assumem-se três pontos temporais, um tempo remoto de baixa poluição (e presumidamente aceitável), um tempo presente, e um tempo futuro (STERN *et al*, 1984).

Estima-se o número de fontes unitárias em cada um destes três períodos, considerando ainda que as emissões por unidade de fonte sejam uniformes.

Finalmente, a redução na emissão por unidade de fonte necessária para se ter no futuro o mesmo nível de poluição no passado é calculada.

Esta linearidade na correlação entre emissão e concentração atmosférica é mais provavelmente válida para gases não reativos como o monóxido de carbono, cuja principal fonte são os veículos.

O modelo pode ser representado por:

$$R = \frac{g(P) - D}{g(P) - B} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde,

R - porcentagem de redução requerida;

P - qualidade do ar atual;

D - padrão de qualidade do ar;

B - concentração *background*;

g - fator de crescimento das emissões (projetado para um ano futuro onde se espera que a emissão seja aplicada a todos os veículos)

Este tipo de abordagem, ao contrário da anterior, considera fatores como: qualidade do ar e padrões de qualidade no estabelecimento dos limites de emissão; não considera, porém, fatores topográficos e meteorológicos, além da alocação das fontes.

3.3.4 – Meios ou Maneiras para Implementação dos Padrões de Emissão

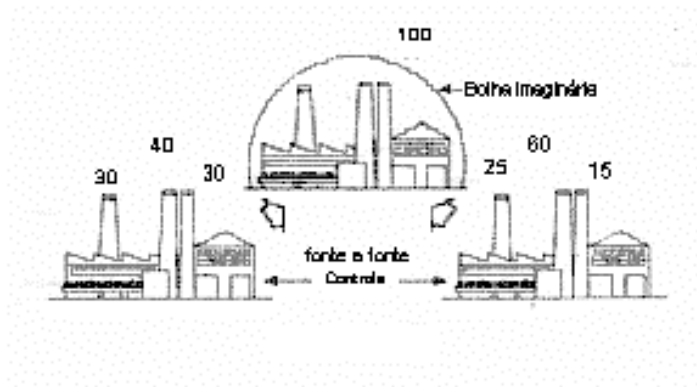
De acordo com (EPA, 2002), a construção de uma nova fonte de emissão que irá lançar uma quantidade específica de poluentes numa área não atendida com respeito a esse poluente deve implicar na redução equivalente em outra fonte da área. A redução ou compensação (*offset*) pode ser realizada ainda em uma planta de outro proprietário, através da negociação dos créditos de abatimento, que podem ser comercializados desde que a agência reguladora legitime as transações.

Porém a nova fonte de emissão deverá observar os limites impostos tais como: NSPS, BACT e LAER quando e quais forem aplicáveis.(STERN, 1984; WORLD BANK,1995).

Quando uma nova fonte é adicionada a uma área com fontes pré-existentes a prática usável é que ela atenda à política de compensação (*offset*), e aos padrões: NSPS, BACT e/ou LAER, independentemente das outras fontes no complexo (EPA, 2002).

Porém existe um conceito mais recente chamado “conceito bolha”, adotado por alguns estados, com a aprovação da EPA, que permite a instalação de novas fontes que atendam ou não aos padrões NSPS, BACT ou LAER, mas que produza um efeito final em termos de concentração de poluentes abaixo dos limites determinados pelos padrões de emissão conforme ilustra a figura 3.1.

Figura 3. 1: O Conceito Bolha



Fonte: STERN (1984)

Este efeito final ou sinérgico tolerável pode ser atingido através da política de compensação entre as fontes do complexo com a comercialização dos créditos, através do fechamento de algumas unidades ou da melhoria da eficiência de controle.

No caso de instalações pré-existentes, os padrões em geral são menos restritivos do que aqueles aplicados para novas instalações. Em algumas cidades e estados americanos os padrões seguem estas tendências.

3.3.5 Padrões de Emissão no Brasil

No Brasil, os limites máximos de emissão estão previstos a título de definição e uso pretendido pela Resolução CONAMA nº 05/89.

A mesma resolução CONAMA nº 05/89 institui os limites máximos de emissão como instrumentos de apoio e operacionalização das ações de controle definidas pelo PRONAR.

O texto também informa que “os limites máximos de emissão serão diferenciados em função da classificação de uso pretendido para as diversas áreas e serão, mas rígidos para as fontes novas de poluição” (CONAMA, 1989).

Sendo consideradas fontes novas os empreendimentos que não tenham obtida a licença prévia do órgão ambiental licenciada até data de publicação da Resolução.

Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 08/90 estabeleceu, em nível nacional, os limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa⁶ de novas fontes fixas de poluição com potências nominais totais até 70MW e superiores.

Os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 08/90 podem ser vistas na tabela 3.5 abaixo:

Tabela 3.5: Padrões de emissão para novas fontes de combustão externa, segundo a Resolução CONAMA nº 08/90

Área	Fonte com potência menor que 70 MW			Fonte com potência maior que 70 MW		
	Partículas Totais	Dióxido de Enxofre	Fumaça	Partículas Totais	Dióxido de Enxofre	Fumaça
Classe I Preservação	Zero (a)	Zero (a)	Zero (a)	Zero (a)	Zero (a)	Zero (a)
Classe I Conservação (b)	120 g/Mkcal	2000 g/Mkcal	Ringelmann I	Zero (a)	Zero (a)	Zero (a)
Classe II e III	350 g/Mkcal (óleo)	5000 g/Mkcal	Ringelmann I	120 g/Mkcal (óleo)	2000 g/Mkcal	Ringelmann I
	1500 g/Mkcal (carvão)			800 g/Mkcal (carvão)		

(a) vedada a instalação de fonte de poluição

(b) consumo de óleo limitado ao máximo de 3000t/ano

Fonte: CAVALCANTI (2003)

Como pode ser observado, a Resolução CONAMA nº 08/90 limitou-se aos processos de combustão externa acreditando ser este o maior contingente dentre as fontes fixas e contemplou somente tais poluentes: dióxido de enxofre, partículas totais e densidade colorimétrica (fumaça).

Atribuiu aos órgãos estaduais de meio ambiente o estabelecimento de limites máximos de emissão (inclusive para novos poluentes) para outros combustíveis além do óleo combustível e carvão mineral, já contemplados (CONAMA ,1990b).

⁶ Toda queima de substâncias combustíveis realizada nos seguintes equipamentos: caldeiras, geradores de vapor, centrais para geração de energia elétrica, fornos fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica, incineradores e gaseificadores.

3.4 Monitoramento da Qualidade do Ar

O objetivo básico dos padrões de qualidade do ar é proteger a saúde e o bem estar humanos.

Estes parâmetros são definidos em termos de concentração num período de tempo para certos poluentes e não devem ser excedidos.

Para se verificar se os padrões estão dentro dos limites fixados as agências reguladoras devem exercer medidas da qualidade do ar.

Estas medidas da qualidade do ar são realizadas com a implantação de uma rede de monitoramento.

Uma rede de monitoramento tem muitos objetivos, além da conformidade com os padrões de qualidade do ar, que foram classificados pelos países europeus ou os Estados Unidos, seguindo critérios politicamente parecidos (ETI, 2000).

- Determinar as concentrações máximas de materiais poluentes na zona monitorada;
- Determinar as concentrações representativas da poluição nas zonas de alta densidade de população;
- Determinar o impacto sobre a qualidade do ar das principais fontes ou categorias de fontes de emissão poluentes;
- Determinar a poluição geral de fundo na zona (background);
- Determinar a amplitude dos transportes de poluição nas zonas povoadas;
- Determinar o impacto da poluição do ar sobre a vegetação nas zonas rurais;
- Determinar o impacto relativo de fontes naturais e antropogênicas.

3.4.1 As Escalas de Espaço de Monitoramento da Qualidade do Ar

Para que o objetivo do monitoramento seja alcançado é necessário que haja um pré-estabelecimento do grau de cobertura da região onde se pretende realizar a medição, só assim, um valor de medição da poluição terá sua representatividade definida. Para tanto, cada estação de medição deverá ser vinculado com pelo menos uma das seis escalas especiais descritas a seguir de acordo com o ETI (2000). Cabe destacar entre elas:

- Escala da Rua, que cobre uma superfície de comprimento máximo de 100m, ou de estradas homogêneas sobre algumas centenas de metros;
- Escala do Quarteirão, que cobre vários quarteirões de casas onde a qualidade do ar é homogênea (distância máxima de 400 a 500 metros);
- Escala de Bairro, que representa uma grande seção urbana homogênea cujo comprimento máximo pode variar de 0,5km a 4km;
- Escala da Cidade, que representa toda uma aglomeração urbana. Seu comprimento máximo pode variar de 4 a 50 km;
- Escala Regional, que representa uma zona rural de população homogênea cujo comprimento máximo varia de 10 a 100 Km;
- Escala Nacional, para as zonas pouco ou não habitadas, e que caracteriza a poluição na escala de país, ou de um conjunto de países.

Entre os objetivos de medições e as escalas de representatividade existem correspondências que são resumidas na tabela 3.6 seguinte:

Tabela 3.6: Correspondência entre os objetivos de medições da poluição e a escala de representatividade das estações de medição

	1 Escala da Rua	2 Escala do Quarteirão	3 Escala de Bairro	4 Escala da Cidade	5 Escala Regional	6 Escala Nacional
Concentração Máxima	x	x	x			
Alta Densidade de População			x	x		
Impacto de Fontes de emissão	x	x	x			
Poluição de fundo			x	x	x	
Transporte Regional de Poluição				x	x	
Impacto Geral sobre a Vegetação				x	x	

BOUBEL *et al* (1984) assume as seguintes escalas espaciais para a rede de monitoramento:

- Micro escala (1 a 100 m);
- Escala Média (100m a 0,5 Km);
- Escala de Bairro (0,5 a 5,0 km);
- Escala Urbana (5 a 50 km);
- Escala Regional (> 50 km).

Na França é utilizada uma caracterização de estações de medição da qualidade do ar muito semelhante que mescla o tipo de emissão e a escala: (ETI, 2000).

- Estações de proximidade de tráfego (10 a 50 m);
- Estações de proximidade industrial (0,1 a 5 km);
- Estação de fundo urbano (0,1 a 2 km);
- Estação de fundo periurbano (1 a 5 km);
- Estações de fundo regionais rurais (5 a 25 km);
- Estações de fundo nacional rural (30 a 300 km).

3.4.2 Visão Geral da Organização de uma Rede de Monitoramento

Uma Rede de Monitoramento consta de um certo número de estações de medições dispostas em pontos onde a medição dos níveis de produção são representativas da poluição ambiental.

Estes medições podem ser feitas de forma manual, através da captação de amostras e posterior análise em laboratório, ou de forma automática por meio de analisadores em linha que fazem medições instantâneas e permanentes de valores de parâmetros característicos da poluição.

3.4.2.1 Estações de Medição Fixa

Existem dois grandes tipos de estações de medição: as estações de medição de parâmetros específicos de poluição como o SO₂, CO, O₃, NO₂, Pb e Pós e aquelas que caracterizam as transformações fotoquímicas da atmosfera, em particular ao que diz respeito a formação de ozônio (O₃), óxidos de nitrogênio (NO_x) e BTX⁷.

Os parâmetros meteorológicos (temperatura, vento e umidade) que permitem explicar as variações de valores de alguns fenômenos característicos devem ser medidos paralelamente. Para tanto, deve-se integrar a medição desses parâmetros às próprias estações (ETI, 2000).

As estações são reagrupadas em redes locais monitorando uma determinada zona geográfica ou administrativa. Na França, existem 39 redes administradas separadamente, mas podendo comunicar entre si. No Estados Unidos as redes são ou regionais ou administradas em âmbito estadual.

Segundo o Relatório do Projeto do Sistema Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar (ETI, 2000), no Brasil, as regiões designadas para a implantação das redes serão as regiões metropolitanas ou o próprio estado. No projeto as redes serão chamadas Redes Locais de Monitoramento da Qualidade do Ar (RLMQA) e as estações que as constituem, serão as estações de Medição das Redes Locais de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMRLMQA). Serão também implantadas estações formando uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar (RNMQA) a título de controle e referência nacional para a qualidade do ar. Estas estações serão escolhidas em função da área, representatividade, e serão chamadas Estações de Medição da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMRNMQA), poderão estar vinculados a uma RLMQA ou serem independentes, em particular quando se trata de estações cuja escala de representatividade é nacional.

3.4.2.2 Estações de Medição Móveis

⁷ BTX equilave a Benzeno, Tolueno e Xileno.

Nas grandes cidades com mais de 1.500.000 habitantes, é necessário a complementação da rede de estações fixas por estações móveis que permitirão responder a demandas específicas relativas a grandes instalações ou na solicitação de autorização de licenciamento ambiental, da indústria. Estas estações móveis permitem estabelecer um ponto zero da poluição necessária para a realização de estudos de impacto ambiental (MAIA, 1997a; ETI, 2000).

3.5 Monitoramento de Fontes

As emissões atmosféricas podem ser caracterizadas por descrições qualitativas expressas em termos de coloração da pluma, da densidade, da formação ou da porcentagem de sua opacidade ou por descrições quantitativas que expressem as concentração ou vazão (mássica ou volumétrica) de um poluente no efluente atmosférico. Para obter tal descrição quantitativa é necessário que se realize a amostragem ou o monitoramento da fonte emissora.

O monitoramento de fontes é tanto do interesse dos grupos industriais quanto das agências ambientais reguladoras. Os primeiros executam o monitoramento e registram os dados das emissões para uso próprio ou na quase totalidade para cumprir o controle regulatório (padrões de emissão). Já as agências reguladoras usam os valores medidos com a finalidade de compilar inventários de emissões, de realização de estudos de modelos de dispersão e para o controle dos níveis de emissão com referência aos padrões estabelecidos.

Um sistema de monitoramento de fontes especifica as emissões de um processo industrial. Para tanto é necessário, e para efeito de projeto, levar em consideração a natureza do processo, os instrumentos de controle utilizados, as peculiaridades das fontes emissoras e o objetivo no uso final dos dados obtidos.

O monitoramento de fontes pode ser tratado, segundo STERN (1984) como um sistema conceitualmente consistindo de seis operações unitárias, conforme demonstra a tabela 3.7 abaixo.

Tabela 3.7: Conceito do Sistema de Monitoramento de Fontes

Operações	Objetivos
Seleção do "site" de amostragem	Representatividade da amostragem
Transporte da amostra (quando aplicável)	Transferência espacial e temporal da amostra extraída com o mínimo efeito sobre sua integridade
Tratamento da amostra (quadro aplicável)	Condicionamento físico e/ou químico da amostra requerido nas operações de análise
Análise da amostra	Geração de dados sobre os poluentes e/ou parâmetros de interesse
Tratamento e informação dos dados gerados	Calibração e processamento de dados analógicos e mostradores (<i>display</i>) com formatos compatíveis com os objetivos das medidas
Interpretação dos dados	Avaliação da validade dos dados de medidas considerando as limitações impostas pelas amostragens e operações de análise

Fonte: STERN (1984)

Nos Estados Unidos, a instalação e operação de sistemas de monitoramento de fontes têm sido recomendadas pelas agências ambientais regionais para um grande número de tipologias com o objetivo de estarem em conformidade com o Padrão de Desempenho de Novas Fontes (NSPS) (EPA, 2002).

A Alemanha possui sistemas de monitoramento previsto para emissão de material particulado e emissões de SO₂.

No Brasil, segundo artigo 7º da Resolução CONAMA 08/90, a verificação do atendimento aos limites nacionais de emissão fixados através desta Resolução, quando do fornecimento da LO (Licença de Operação), poderá ser realizada pelo órgão ambiental licenciado ou pela empresa em licenciamento desde que com o acompanhamento do referido órgão ambiental licenciador (CONAMA, 1990b).

3.6 Controle Tecnológico de Fontes Fixas

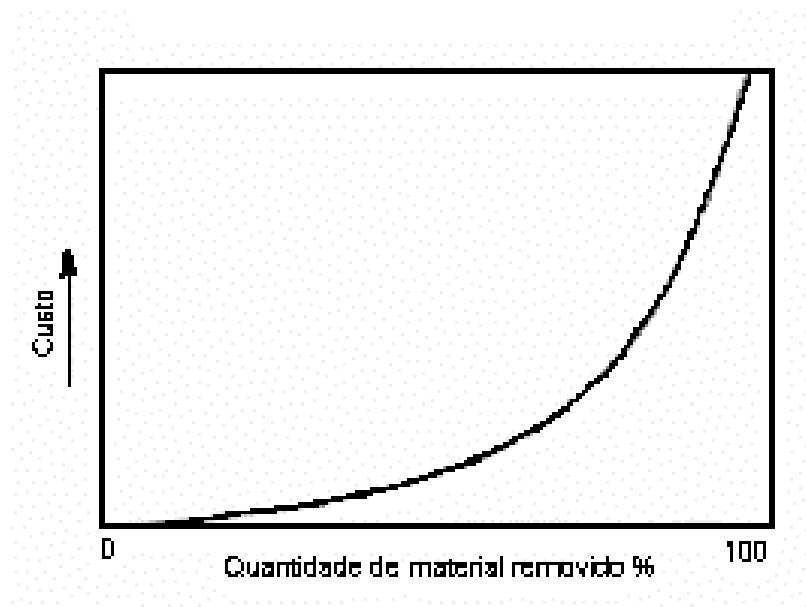
A aplicação do controle tecnológico a problemas de poluição do ar parte do princípio de que as emissões da fonte podem ser reduzidas a valores pré-determinados pelos limites reguladores (padrões de qualidade do ar e padrões de emissão) ou a valores menores do que estes (NEIBURGER *et al*, 1973).

O controle tecnológico não pode ser aplicado, portanto a fontes “incontroláveis” como, por exemplo, os vulcões e nem criar expectativas de que o controle utilizado resulta em emissões atmosféricas nulas, ou seja, o controle ideal (THEODORE, 1998).

O custo envolvido no controle de uma fonte é geralmente uma função exponencial da porcentagem de remoção de poluente e torna-se uma consideração importante no nível de controle necessário.

A figura 3.2 mostra este comportamento típico de curvas de custo para equipamentos de controle.

Figura 3.2: Custo de Equipamento de Controle



Fonte: STERN (1984)

O controle da poluição atmosférica de fontes fixas pode ser realizado por duas abordagens fundamentais: controle pela diluição das emissões na atmosfera devido aos efeitos de dispersão, e o controle na fonte com a implantação de equipamento de controle e ou ações capazes de minimizar as emissões (PAINTER, 1974).

3.6.1 Controle pela Diluição das Emissões na Atmosfera

Este tipo de controle utiliza o parâmetro altura da chaminé para reduzir a concentração de poluentes ao nível do solo pelas turbulências atmosféricas naturais, permitindo que haja a diluição destes poluentes antes que alcance os receptores e possam causar algum dano ou prejuízo (AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, 1992; PAINTER, 1974).

Esta abordagem de controle das emissões pode ajudar na obtenção da qualidade do ar desejado, uma vez que conta com o tremendo poder de diluição e dispersão da atmosfera.

Esta prática, no entanto, tem sido contestada uma vez que as descargas atmosféricas das chaminés provavelmente resultam no transporte das emissões a longas distâncias ocasionando problemas em nível inter-regional e internacional como a deposição ácida.

3.6.2 Controle na Fonte

O controle na fonte pode ser realizado utilizando o princípio da prevenção através da redução da geração de poluentes na fonte, ou através da destruição química, retenção física ou alteração das propriedades dos poluentes antes que alcance a atmosfera, podendo ser empregada uma das seguintes ações (CORBITT, 1989):

- **Realocação da Fonte**

Nos estudos dos efeitos atmosféricos sobre a zona aérea de uma comunidade é possível determinar o local mais satisfatório para a instalação de uma indústria que está causando problemas de poluição atmosférica inaceitáveis no local originalmente escolhido para alocação.

A realocação para áreas que contam com condições atmosféricas mais favoráveis pode tornar os níveis de emissões toleráveis sob o ponto de vista da qualidade do ar da região.

- **Paralisação da fonte**

A fonte pode ser fechada ou paralisada por um período de tempo quando os níveis de poluição se tornarem uma ameaça à saúde pública.

As agências regionais da EPA têm requerido a paralisação de atividades quando ocorrem indícios de condições meteorológicas adversas capazes de causar graves episódios de poluição atmosférica (WILKINSON, 1987).

- **Substituição do combustível ou energia**

Podem ser alcançados resultados satisfatórios pela troca de combustíveis como, por exemplo, carvão com alto teor de enxofre por um com menor taxa deste elemento, ou

a troca no uso de óleo residual, por óleo destilado e finalmente com uso abundante de gás natural.

Uma melhoria drástica também pode ser conseguida pela mudança no uso de combustíveis fósseis para fins energéticos por energia hidráulica, elétrica, nuclear, solar ou geotérmica.

Outro aspecto consiste no tratamento do combustível pré-combustão como exemplo a dessulfurização do carvão e do óleo combustível, uma vez que as emissões são uma função do conteúdo de enxofre presente no combustível (CAVALCANTI, 2003).

- Mudanças no Processo

Tipo de controle que além de reduzir a poluição serve como método de conservação de energia, uma função da melhoria tecnológica.

Um exemplo típico é o processo da indústria de aço que com a mudança dos fornos de câmara aberta para fornos à base de oxigênio ou elétricos tem emitido muito menos poluentes para a atmosfera, reduzindo a emissão de fumaça, monóxido de carbono e fumos metálicos.

- Otimização na operação

Independente do tipo de equipamento que é instalado, do combustível queimado, ou da matéria-prima utilizada, a boa operação do sistema pode reduzir as emissões atmosféricas de uma fonte.

Os equipamentos e instalações devem ser adequadamente instalados, operados e freqüentemente vistoriados para minimizar as emissões de poluentes.

Um exemplo segundo CAVALCANTI (2003) é a manutenção regular do sistema de combustão para assegurar a atomização e, conseqüentemente, minimizar a quantidade de combustível não queimado.

- Equipamentos ou técnicas de controle da poluição atmosférica

Em muitas situações, o nível de remoção atingido pela troca de combustível ou a mudança no processo não é suficiente necessitando de utilizações de equipamentos

de controle adicionais que extraem os poluentes das correntes gasosas reduzindo as emissões em níveis aceitáveis pela agência reguladora.

Estes equipamentos de controle são geralmente projetados para controlar poluentes gasosos ou poluentes particulados, poucos são eficientes na remoção de ambos os poluentes. Alguns equipamentos são construídos para tipos específicos de poluentes ou tamanhos específicos de material particulado (PAINTER, 1974).

A técnica e o instrumento de controle aplicável para controlar poluentes gasosos dependerá das propriedades específicas da corrente gasosa a ser controlada. Porém podem ser enquadrados nos diferentes métodos de tratamento: adsorção, absorção, combustão, sistemas de recuperação de vapor, meios de mascaramento e contração (remoção de odor).

A aplicação desta técnica origina uma infinidade de instrumentos de controle como: absorvedores, incineradores, flares, etc.

No caso de poluentes particulados os principais instrumentos são os lavadores de gases, os precipitadores eletrostáticos, os ciclones e os filtros-manga.

3.7 Licenciamento Ambiental e Avaliação do Impacto Ambiental

O licenciamento ambiental e a avaliação de impacto ambiental são alguns dos instrumentos de gestão ambiental público definidos na Política Nacional do Meio Ambiente, através da Lei 6938/81, Art 9º, inciso IV e III respectivamente.

CONAMA (1997) define o licenciamento ambiental como procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais considerados efetivamente ou potencialmente poluidoras ou daqueles que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas aplicáveis ao caso.

De acordo com a Lei 6938/81, artigo 10º, a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras, bem como capazes sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento por órgão

estadual competente, integrante do SISNAMA⁸ e do IBAMA⁹, em caráter, supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis.

As licenças mencionadas na Lei 6938/81 estão estabelecidas na Resolução CONAMA 2371/97 como:

- Licença Prévia (LP): emitida na fase preliminar do planejamento da atividade, servindo para aprovar a sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental do empreendimento;
- Licença de Instalação (LI): autoriza a instalação do empreendimento de acordo com as especificações;
- Licença de Operação (LO): autoriza a operação da atividade ou empreendimento.

A obtenção da licença prévia poderá exigir do empreendimento ou atividade a execução do processo de avaliação do impacto ambiental (AIA), aplicado a empreendimentos com significativo potencial de impacto ao meio ambiente conforme definido na Resolução CONAMA 01/86.

O processo de avaliação de impacto ambiental conta com a utilização de duas ferramentas imprescindíveis ao bom andamento da avaliação: o estudo de impacto ambiental (EIA) e o relatório de impacto ambiental (RIMA).

A implantação destes dois instrumentos citados possibilita ao órgão ambiental competente a execução de ações tais como: permissão, inclusão, modificação ou mesmo a rejeição da implementação de empreendimento e/ou atividades públicas ou privadas que visem à utilização de recursos ambientais.

Segundo CAVALCANTI (2003) de acordo com os procedimentos de análise de um processo de licenciamento ambiental, no que diz respeito à poluição do ar, avalia-se não só as emissões atmosféricas propostas para os vários poluentes, como também seus respectivos impactos na qualidade do ar na área de influência do empreendimento. Tais avaliações são realizadas com base nos pontos estabelecidos na legislação ambiental, quer sejam limites máximos de emissão estabelecido pela resolução CONAMA 08/90, quer sejam padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90.

⁸ SISNAMA: Sistema Nacional do Meio Ambiente

⁹ IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

A prática de aplicação no Brasil se constitui, entretanto, como modelos defasados uma vez que as avaliações dos estudos de impacto ambiental não consideram os impactos cumulativos ou sinérgicos do empreendimento, impossibilitando uma avaliação integrada a fim de garantir a qualidade do ar da região da instalação.

Além disso, verifica-se que os EIA's em geral não contemplam o nível de poluentes remotos (*background*) da área de influência onde se pretende instalar o empreendimento, muitas vezes devido à falha de uma rede de monitoramento da qualidade do ar.

Outro aspecto defasado nos EIA's é a não consideração das alternativas de projeto com igual nível de detalhamento até que se faça uma opção após avaliação comparativa, segundo assinalou CAVALCANTI (2003).

As alternativas são apresentadas somente em nível de comentário, sendo o estudo efetivamente realizado apenas para o empreendimento pretendido.

Os estudos de impacto ambiental utilizam como forma de avaliação do impacto na qualidade do ar, gerado por atividade industrial, os modelos matemáticos de dispersão de poluentes.

Estes modelos são alimentados com dados sobre emissões atmosféricas provenientes da operação da atividade e com dados de condições meteorológicos da região em análise. Os resultados daí provenientes permitem estimar a contribuição de cada poluente na área de influência do empreendimento.

A estimativa das emissões de fundamental importância para motivar a região candidata ao estabelecimento do novo empreendimento é a ferramenta inventário de fontes de emissões atmosféricas. Porém, os órgãos ambientais não dispõem de inventários de fontes atualizados e abrangentes o que dificulta ainda mais o processo de avaliação de impactos de um novo empreendimento na qualidade do ar de uma região.

O emprego da gestão da poluição do ar, seja através do fortalecimento da regulamentação com a inserção de medidas como os padrões de qualidade ambiental, ou do desenvolvimento contínuo dos sistemas tecnológicos de controle, ou ainda, de medidas de averiguação da manutenção dos padrões definidos através dos programas de monitoramento, necessita da caracterização prévia das emissões liberadas na atmosfera para atingir um nível de eficácia capaz de trazer um benefício real para as populações urbanas.

Esta prática de caracterização, bastante empregada na maioria dos países desenvolvidos, permite conhecer a natureza, a extensão e a magnitude das cargas de poluentes

atmosféricos a fim de fornecer subsídios à implementação de políticas de controle e ao planejamento ambiental.

O capítulo seguinte apresenta a ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas, nome usado para a tarefa de caracterização das emissões, onde será descrita a metodologia atualmente empregada pela agência ambiental americana.

Capítulo 4: A Ferramenta: Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias

Este capítulo apresenta a ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias onde se procurou fazer uma revisão da metodologia americana, utilizada no estudo de caso.

4.1 Definição

A EPA (1999) define a ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas como sendo uma listagem atualizada e abrangente das emissões atmosféricas causadas por fontes ou grupo de fontes que estão localizadas numa área geográfica específica para um intervalo de tempo definido.

Um inventário de emissões envolve, portanto, a investigação de cada fonte ou grupo de fontes, dentro de uma área para determinar a quantidade e a qualidade dos poluentes de vários tipos que estão sendo lançados na atmosfera.

Usualmente um inventário de emissões deve conter as seguintes informações (EEA, 2003):

- Área geográfica coberta pelo inventário;
- O intervalo de tempo considerado para a estimativa, isto é, anual, mensal, horário, etc;
- Informações de dados econômicos e/ou sociais, tais como: população, nível de emprego, etc., utilizados nas estimativas e distribuição das emissões;
- A descrição das categorias de fontes abrangidas;
- Procedimentos usados para a coleta de dados;
- Fonte dos dados coletados;
- Cópia dos questionários e resultados (número de questionários enviados, número de respostas recebidas, métodos utilizados para se fazer a extrapolação dos dados não recebidos e, outras considerações realizadas);
- Citação de todos os fatores de emissão utilizados;
- Identificação dos métodos usados para o cálculo das emissões;
- Documentação completa de todas as considerações realizadas;
- Identificação das fontes de emissão não incluídas no inventário;
- Lista de referências.

A preparação do inventário de emissões é um processo contínuo que envolve uma série de etapas inter-relacionadas, como a busca e compilação de dados, vistorias em plantas industriais, envio de questionários e cálculos de emissões, devendo ser executadas com prévio planejamento em vários níveis de aplicação para a obtenção de resultados consistentes e para o bom desempenho das atividades.

4.2 Importância e Utilização

Segundo a *European Environment Agency* - EEA (2002), o inventário de emissões atmosféricas é a base essencial para todos os programas de gerenciamento da qualidade do ar.

Esta ferramenta pode ser usada com vários propósitos, mas freqüentemente é desenvolvida para atender às requisições regulamentadas pelas agências ambientais.

Um inventário de emissões pode ser usado para avaliar o *status* da qualidade do ar de uma região e suas relações com os padrões de qualidade do ar; avaliar a efetividade dos programas de controle de poluição do ar e servir de base para a implementação de mudanças necessárias nestes programas.

As informações técnicas originadas do inventário de emissões podem ainda ter os seguintes usos específicos (EPA, 1999; EEA, 2003):

- Determinar conformidades ou não conformidades com os padrões estabelecidos;
- Estabelecer uma linha de base para medidas de planejamento e controle;
- Identificar as fontes e os níveis de emissões, padrões e tendências para o desenvolvimento de estratégias de controle e novas regulamentações;
- Servir como dados de entrada para o desenvolvimento de modelos preditivos da concentração de poluentes;
- Servir como dados para estudos de avaliação de riscos à saúde humana;
- Conduzir avaliação de impacto ambiental para fontes novas;
- Servir como base nos processo de licenciamento ambiental;
- Servir como ferramenta nos programas futuros de créditos de emissões;
- Estabelecer áreas para implantação de monitores da qualidade do ar.

A importância dos inventários de emissões aumenta com o avanço na sofisticação dos modelos matemáticos de dispersão e de outras ferramentas utilizadas no gerenciamento da qualidade do ar e, como resultado o interesse na verificação das emissões se torna difundido.

Um inventário de emissões serve, portanto, para o estabelecimento de sólidas políticas públicas. A formulação de estratégias de controle apropriadas requer uma base de estimativas de emissões de qualidade. Se os dados usados forem falhos ou de origem duvidosa, as políticas públicas derivadas também serão. Os erros daí advindos podem onerar as estratégias de controle, além de prejudicar o bem-estar público e o meio ambiente (EEA, 2004b; THIELKE, 1977).

4.3 Tipos de Poluentes e Fontes Comumente Abordados nos Inventários

A preparação inicial de qualquer inventário permeia a necessidade de se estabelecer previamente os poluentes que serão contemplados.

Nem sempre a decisão é baseada com conhecimento de causa, pela falta de informações específicas da qualidade das emissões geradas, o que geralmente pode ser solucionado com uma inspeção dos processos industriais ou em recorrência à literatura.

O conhecimento de quais poluentes são freqüentemente monitorados ou utilizados como padrões regulamentados fornece também diretrizes neste sentido.

A EPA usualmente utiliza os poluentes indicadores da qualidade do ar (*criteria pollutants*), padrões nacionais da qualidade do ar, como principais poluentes componentes dos inventários.

Estes poluentes são o ozônio(O_3), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio(NO_x), o dióxido de enxofre (SO_2), o material particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micras (PM_{10}), o material particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micras($PM_{2.5}$).

Além destes poluentes a EPA regula as emissões de compostos orgânicos voláteis (VOC's) em seu programa de estabelecimento de padrões. Estes poluentes são os precursores do ozônio sendo emitidos dos motores dos veículos na fase de distribuição de combustíveis, em fábricas químicas e de uma grande variedade de processos industriais onde se utiliza solvente como matéria-prima (EPA, 1999).

A seguir serão comentados os principais aspectos dos poluentes usualmente contemplados nos inventários de emissões (EPA, 1999; BAIR, 2002):

- Ozônio (O_3)

É um gás incolor, principal componente do *smog* fotoquímico. Não é emitido diretamente na atmosfera, mas é formado através de reações químicas complexas entre as emissões dos compostos orgânicos voláteis e as de NO_x na presença da luz solar, sendo aceleradas pelo aumento de temperatura. Tipicamente os maiores níveis na concentração do poluente ocorrem durante o verão.

O ozônio ocorre em duas camadas na atmosfera: na troposfera, onde é um poluente que causa prejuízos à saúde humana, a vegetação e aos materiais; e na estratosfera, onde a camada de ozônio estende-se por quase 30 quilômetros protegendo a vida dos raios ultravioletas nocivos.

- Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e tóxico produzido pelo processo de combustão incompleta. As fontes que mais contribuem para a emissão de CO são os veículos automotores, os incineradores, os fornos que utilizam madeira como combustível etc. Quando o CO é inalado, entra na corrente sanguínea e reduz bruscamente a demanda de oxigênio para os órgãos e tecidos.

- Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

São importantes gases precursores do ozônio troposférico e da deposição ácida que resultam em danos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos e terrestres. Os óxidos de nitrogênio podem interagir com outros compostos no ar para formar material particulado. Estes gases são formados quando o combustível é queimado a altas temperaturas. As principais fontes emissoras são os veículos automotores e as fontes de combustão que queimam gás natural como as usinas termoeletricas.

O principal mecanismo para a formação de dióxido de nitrogênio (NO₂) na atmosfera é a oxidação do monóxido de nitrogênio (NO). Quando inalado, o dióxido de nitrogênio pode irritar os pulmões, causar bronquite e pneumonia, além de diminuir a resistência às infecções respiratórias.

- Dióxido de Enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre é um gás incolor que como o NO_x é precursor da chuva ácida. Pode reagir com outros compostos na atmosfera e formar material particulado. Os compostos de enxofre contribuem para a diminuição da visibilidade da atmosfera (sulfato particulado). São derivados essencialmente de grandes fontes estacionárias como as de combustão externa que utilizam carvão ou óleo como combustível.

- Material Particulado

São os poluentes atmosféricos incluídos numa das seguintes categorias: pós, sujeiras, fuligem, fumaça e gotas líquidas originadas de várias fontes, tais como: fontes naturais: as tempestades de areia e queimadas; fontes de combustão: os motores dos veículos, atividades de geração de energia, caldeiras, fornos, etc. Estas fontes emitem partículas de cinza e materiais da combustão incompleta. Incluem-se ainda as atividades de manipulação ou realocação de materiais agregados, peneiramento, moagem e tráfego de veículo em vias não pavimentadas; a interação de gases como NH_3 , SO_2 , NO_x e VOC's com outros compostos do ambiente atmosférico para formar material particulado.

A composição química e física do material particulado pode variar em função da localização, do período do ano e de fatores meteorológicos. A fração fina, menor que 2,5 micras, geralmente é emitida por fontes de combustão, sendo compostos geralmente formados por partículas de sulfato e nitrato. O material particulado maior do que 10 micras pode ser emitido por fontes naturais como tempestades de areia, o tráfego de veículos em vias não pavimentadas e pela operação de manipulação de materiais agregados, etc.

Existem muitos tipos de fontes de emissões atmosféricas e muitos exemplos de cada tipo, tais como (EEA, 2004a):

- Plantas de geração de energia;
- Refinarias;
- Incineradores;
- Processos industriais;
- Consumo doméstico;
- Veículos;
- Animais;
- Extração de combustíveis fósseis;
- Construção civil;
- Árvores e vegetação em geral;
- Vertilização do solo;
- Decaimento biológico do solo, etc.

Entretanto, não é possível medir diretamente as emissões de todos os exemplos de fontes citadas, principalmente das fontes de origem natural. Na prática as emissões atmosféricas são estimadas na base de medidas realizadas em amostras selecionadas e representativas dos principais tipos de fontes.

De acordo com a EEA (2004b) os inventários de emissões geralmente abordam três tipos de fontes, quais sejam: pontual, área ou lineares.

- Fontes Pontuais: são fontes estacionárias de emissão que lançam poluentes para a atmosfera. A estimativa das emissões é realizada para cada fonte individualmente com a utilização de dados de capacidade e produção e condições de operação. Algumas metodologias consideram as fontes estacionárias as fontes que emitem uma quantidade de poluentes acima de um patamar pré-definido.
- Fonte áreas: são geralmente fontes menores que as primeiras cujas emissões individuais não as qualificam como fontes pontuais. Usualmente representam um grande número de atividades que individualmente lançam pequenas quantidades de poluentes para a atmosfera mais que coletivamente passam a ter emissões significativas como, por exemplo, as lavanderias cujas emissões individuais são pequenas, porém quando consideradas em conjunto podem ter significância em termos de emissões.
- Fontes Lineares: compreendem as fontes móveis cujas emissões originárias do transporte em rodovias, ferrovias, navegação e transporte aéreo são estimadas ao longo das trajetórias das vias percorridas.

4.4 Abordagens Utilizadas no Desenvolvimento dos Inventários

Existem duas abordagens principais que podem ser utilizadas no desenvolvimento de um inventário de emissões: a *Top-Down* e a *Bottom-Up* (EPA, 1999; EEA, 2003; ETCA, 1996; XAVIER, 2004).

- *Top-Down*

Esta abordagem considera a estimativa das emissões baseadas em dados e informações de nível nacional ou regional. Estes dados ou informações são medidas diretas ou indiretas do nível de atividade industrial de uma região. Tipicamente usam-se dados de vendas, nível de emprego ou fatores de emissão *per capita*. Por exemplo, a quantidade de combustível queimada nos processos de combustão podem ser usada para estimar as emissões se não houver informações como fatores de emissão baseados em massa de poluentes emitidos por volume (ou massa) de combustível queimado. A quantidade total de gasolina vendida em uma localidade pode ser um exemplo de dados de atividades usados para se estimar as emissões evaporativas. Os dados populacionais podem ser usados em inventários de fontes áreas para se estimar as emissões de hidrocarbonetos totais de processos como lavanderias se houver disponibilidade de fator de emissão baseado na quantidade de VOC's emitidos por habitante.

Na realidade através de informações ou dados aparentemente não relacionados com a investigação, faz-se uma série de análises ou inferências para se chegar às estimativas das emissões de poluentes.

Utilizam-se, logicamente, dados gerais cuja função ou relação com o propósito de cálculo seja conhecida.

O quadro 4.1 lista as principais características da abordagem *Top-Down* no processo de inventário.

Quadro 4.1: Características da Abordagem *Top-Down*

Características da Abordagem <i>Top-Down</i>
▪ Tipicamente usada para inventários de fontes áreas; ▪ Utilizada quando (1) os dados locais não estão disponíveis; (2) o custo para se reunir dados locais são altos; (3) o uso final dos dados do inventário não justifica o gasto na coleta e reunião de informações específicas; ▪ A estimativa das emissões está baseada em fatores nacionais ou regionais

cujos parâmetros podem ser a população ou o nível de emprego num setor específico;

- Requer o mínimo de recursos na compilação das informações.

Fonte: Elaboração Própria

O principal problema deste tipo de abordagem é que as estimativas das emissões ficam prejudicadas em termos de exatidão devido às incertezas associadas aos dados primários e a representatividade em nível local, geralmente atribuída à necessidade de adaptação regional.

- *Bottom-Up*

Neste nível de abordagem, a investigação é realizada em um nível de detalhamento maior que a anterior. As emissões são calculadas individualmente para cada fonte buscando informações capazes de caracterizá-la, sendo assim, é um processo que demanda maiores recursos.

O quadro 4.2 ilustra as principais características desta abordagem.

Quadro 4.2: Características da Abordagem *Bottom-Up*

Características da Abordagem *Bottom-Up*

- Tipicamente usada para inventários de fontes pontuais, entretanto, pode ser aplicado a fontes áreas desde que haja recurso disponível para coletar os dados locais;
- Requer maiores recursos para coletar informações específicas, tais como: fontes de emissão, nível de atividade, fatores de emissão, etc;
- Resulta em estimativas mais representativas e exatas do que a abordagem *top-down* porque os dados coletados diretamente das fontes individuais não derivam de informações nacionais ou regionais;

Fonte: Elaboração Própria

4.5 Metodologia Adotada nos Estados Unidos

4.5.1 Exigências Legais

O *Clean Air Act* (CAA) tem expandido a ação da *Environmental Protection Agency* -EPA para a melhoria da qualidade do ar nos Estados Unidos. Para tanto o CCA requer que a EPA melhore continuamente a qualidade e a abrangência das estimativas das emissões de poluentes atmosféricos. Assim nas últimas duas décadas os programas de gerenciamento da qualidade ambiental têm exigido que as atividades informem a caracterização dos poluentes emitidos (EPA, 1997a; EPA, 1997b).

O *Emission Inventory Improvement Program* (EIIP) é o programa da EPA, criado em 1993, que se preocupa com o desenvolvimento de inventários de emissões atmosféricas, de maneira que o produto final tenha um custo razoável e seja um inventário consistente e de confiança, para tanto existe um esforço crescente na melhoria da qualidade da coleção dos dados e na padronização das informações resultantes, além de outras etapas do processo (EPA, 1997a).

Os métodos de estimativas de emissões padronizados pela EIIP têm permitido às agências federais, estaduais e locais a obtenção de inventários de qualidade e razoáveis, sob o ponto de vista econômico, com a determinação das emissões para várias categorias de fontes de interesse (EPA, 1999).

A avaliação das emissões atmosféricas está regulamentada por leis federais e estaduais, sendo exigido um esforço das fontes emissoras na estimativa de suas emissões.

Existem várias exigências federais com respeito às estimativas de emissões atmosféricas. As principais derivam do *Clean Air Act* (CAA) ou de outras leis conduzidas pela EPA como: *National Environmental Policy Act* (NEPA), *Comprehensive Environmental Recovery and Comprehensive Liability Act* (CERCLA), *Superfund Amemdmnts and Reauthorization Act* (SARA), *Resouce Conservation and Recovery Act* (RCRA) e a *Pollution Prevention Act* (PPA). Existem, ainda, algumas exigências derivadas de políticas em nível nacional conduzidas pelo Department of Energy (DOE) e pelo Department of Defense (DoD) (EPA, 1997a).

As agências estaduais devem estar em consonância com as leis federais obedecendo aos critérios mínimos estabelecidos e, podem implementar políticas mais restritivas, complementares ou adicionais nas estimativas das emissões.

4.5.2 O Processo de Inventário de Emissões Atmosféricas

De acordo com a EPA (1997a), as atividades que compõem o processo de inventário de emissões atmosféricas de fontes poluidoras podem ser agrupadas nas seguintes etapas do desenvolvimento da metodologia:

- i. Planejamento do Inventário;
- ii. Procedimentos para a Estimativa das Emissões;
- iii. Coleção de Dados (Compilação de dados);
- iv. Documentação e Apresentação;
- v. Controle de Qualidade e Garantia da Qualidade.

i. Planejamento do Inventário

A realização de um inventário de emissões atmosféricas consistente deve ser iniciada com a etapa de planejamento.

Nesta etapa importantes considerações iniciais devem ser elaboradas. Tais considerações nortearão o desenvolvimento do processo do inventário e, portanto,

constitui-se de etapa de grande importância que quando bem executada poderá ser fator facilitador em todo o processo.

Como parte das atividades de planejamento, destacam-se as seguintes considerações:

- O uso final dos dados;
- O escopo do inventário;
- Disponibilidade e utilidade dos dados existentes;
- Estratégia para coleção e gerenciamento de dados;
- O uso final dos dados.

A consideração básica na etapa de planejamento é estabelecer o uso final ou uso pretendido de um inventário de emissões.

Para uma agência reguladora o uso pretendido pode ser enquadrado numa das seguintes categorias:

- Desenvolvimento de estratégias de controle da qualidade do ar;
- Manutenção da qualidade do ar;
- Pesquisa sobre a qualidade do ar.

Para uma fábrica ou atividade industrial, um inventário de emissões serve como indicador da eficiência de programas de redução de emissões ou como meio de identificar oportunidades de melhorias no processo industrial.

O Escopo do Inventário

A definição do escopo do inventário considera o nível de detalhamento a ser atingido, o número de fontes e os poluentes de interesse.

Fontes Pontuais podem ser inventariadas em três níveis de detalhamento (EPA, 1997a; EPA, 1997b; EPA, 1999):

- Nível de Planta: referente a uma atividade industrial que poderá conter várias atividades emissoras;

- Nível Pontual: emissões originárias de chaminés, dutos, ventos ou outras fontes de emissões;
- Nível de Processo: representam a operação unitária de uma categoria específica de fontes.

O nível apropriado será uma função do uso pretendido dos dados.

Segundo a EPA (1997a), todas as fontes deveriam ser consideradas, sob circunstâncias ideais, fontes pontuais, entretanto, somente fontes que emitem mais do que um limite estabelecido podem ser consideradas fontes pontuais.

Os poluentes a serem inventariados são os principais elementos na determinação do escopo do inventário.

Além dos poluentes indicadores da qualidade do ar – *criteria pollutants* – a EPA contempla inventários de poluentes tóxicos – *Hazardous Air Pollutants* (HAP). Para tanto a CAA possui uma lista com cerca de 190 poluentes a serem inventariados. As agências estaduais ou locais podem, entretanto, exigir a inclusão de poluentes tóxicos adicionais por motivos específicos (EPA, 1999).

Disponibilidade e Utilidades de Dados Existentes:

A principal consideração é se existem informações de inventários já realizados e se estas podem ser utilizadas.

Inventários consolidados podem servir como ponto de partida para o amplo desenvolvimento de dados e informações de suporte, como por exemplo, procedimentos de documentação.

Os inventários existentes devem ser examinados para se averiguar a inclusão de fontes apropriadas e se os dados representam as condições atuais.

Estratégias para a Coleção de Dados

Outra etapa importante na fase de planejamento é a definição de que tipo de procedimento será adotado para a coleção dos dados. As alternativas incluem: questionários, inspeções na planta ou a revisão dos arquivos ou documentos das

agências ambientais. Dependendo da escolha adotada os dados disponíveis poderão ser apresentados de várias formas, como por exemplo: medidas na fonte, balanços materiais, relatórios de vistorias ou estimativas das emissões atuais (EPA, 1997d).

Os esforços despendidos na fase de planejamento terão como produto final o Plano de Trabalho do Inventário – Inventory Work Plan – que consiste num documento conciso onde se define exatamente como a agência ou atividade industrial pretende desenvolver e apresentar o seu inventário de emissões atmosféricas.

Este documento deve conter os objetivos e procedimentos gerais, correlacionar todas as fontes com os respectivos poluentes a serem inventariados, além do seguinte conteúdo mínimo (EPA, 1997d):

- Definir a área geográfica do inventário;
- Descrever a base ou *background* para o inventário, isto é, se existem esforços anteriores viáveis;
- Especificar as atribuições de responsabilidade, definindo os atores responsáveis por cada etapa;
- Especificar o coordenador do sistema de segurança de qualidade (QA);
- Descrever a abordagem a ser utilizada para o cálculo das emissões, incluindo estratégias para o gerenciamento dos dados gerados;
- Descrever como a atividade industrial ou a agência reguladora pretende apresentar e documentar o inventário para a apreciação da EPA;

ii. Procedimentos para a Estimativa das Emissões

Uma atividade industrial pode conter um grande número de fontes de emissões atmosféricas. Dependendo do tamanho da instalação industrial, da natureza e do número de processos e dos equipamentos de controle existentes a estimativa das emissões atmosféricas pode ser muito simples ou extremamente complexa.

Inventários de fontes pontuais são usualmente conduzidos na base ponto-a-ponto devido à importância de suas emissões.

Os métodos comumente utilizados nas estimativas das emissões dos *criteria pollutants* incluem (EPA; 1997b; EPA, 1999).

- Monitoramento Contínuo das Emissões;

- Amostragem de Chaminés;
- Balanço de Massa;
- Fatores de Emissão;
- Análise de Combustível;
- Modelos de Estimativa de Emissões;
- Julgamento de Engenharia.

Um inventário de emissões atmosféricas pode ser realizado com base em emissões reais, emissões permitidas ou emissões potenciais, sendo mais comum a utilização de emissões de poluentes reais, pois expressam a taxa real de emissões de poluentes, calculada usando-se a tempo de operação da atividade e o nível de produção.

A EIIP distingue os métodos de estimativas de emissões em preferido e alternativo para cada categoria da fonte.

A escolha desta distinção deve ser explicitada ainda na fase de planejamento e no Plano de Trabalho.

A decisão de quais métodos serão utilizados deverão ser norteadas pelos seguintes fatores (EPA,1997a;EPA,1999).

- Prioridade da categoria da fonte;
- Recursos financeiros;
- Objetivos da qualidade de dados;
- Disponibilidade dos dados;
- Intenção de uso do inventário.

Monitoramento Contínuo de Emissões

O monitoramento contínuo de emissões mede as emissões reais durante o intervalo de tempo em que o monitor estiver operando.

O monitoramento contínuo é tipicamente utilizado para medir a concentração de emissões gasosas de chaminés dos seguintes poluentes: NO_x,CO₂,CO,SO₂ e hidrocarbonetos totais.

O dado de concentração pode ser facilmente convertido para taxa única de emissão conhecendo-se o volume de ar medido.

Idealmente todas as plantas que necessitam realizar estimativa de suas emissões atmosféricas deveriam utilizar este método, porém existem vários fatores que não justificam o seu uso sendo o principal o custo.

Amostragem de Chaminé

São medidas de emissões de curto prazo tomadas nas chaminés ou dutos. Os dados obtidos podem ser utilizados para o desenvolvimento de fatores de emissão.

Devido ao substancial tempo e equipamentos envolvidos, as amostragens de chaminés requerem mais recursos do os métodos que utilizam fatores de emissão ou balanço material.

Em geral a técnica utiliza dois instrumentos: um para coleta e identificação do poluente e outro para medir a vazão da corrente gasosa.

A principal diferença entre este método e o monitoramento contínuo é a duração do tempo sobre o qual as medidas são conduzidas. A amostragem de chaminé é conduzida sobre um intervalo de tempo discreto e finito enquanto que o monitoramento é contínuo.

Existem várias vantagens para a utilização da amostragem de chaminé nos inventários de emissões, dentre as quais destacam-se (EPA, 1997b):

- É de grande valor para a obtenção de informações gerais sobre uma indústria ou para obtenção de informações específicas sobre os poluentes emitidos e parâmetros operacionais de instrumentos de controle;
- Reduz as aproximações inerentes à aplicação generalizada de fatores de emissão, as eficiências dos instrumentos de controle etc. Ou seja, produz resultados mais representativos do que os fatores de emissão ou o método de balanço material.

Entretanto, possui alguns fatores desfavoráveis quanto a sua utilização:

- Método de custo elevado;
- O resultado pode refletir apenas a taxa de emissão e as condições de operação num momento do processo industrial que pode não ser plenamente ao longo do tempo, aumentando assim as incertezas associadas na extrapolação por um período de tempo maior.

Balanço Material

Neste método as emissões são estimadas pela diferença entre a quantidade de material que entra e a quantidade de material que sai de um equipamento, de um processo ou de toda atividade industrial.

O método do balanço material pode ser usado onde a estimativa de emissão não puder ser realizada por amostragem de chaminé, fatores de emissão ou outros métodos disponíveis.

O emprego deste método é bastante apropriado nos processos que utilizam solventes como nas operações de revestimento de superfícies.

Nos casos onde o solvente utilizado é totalmente lançado na atmosfera, o balanço material é de simples utilização e de alta exatidão.

No entanto, se parte do solvente for capturado por algum instrumento de controle, como por exemplo, um incinerador ou um condensador, a porção capturada deverá ser estimada por outros métodos, pois deve ser considerada nos cálculos (EPA, 1996).

O balanço material não deve ser utilizado em processos industriais onde os materiais empregados sofrem significativas mudanças químicas.

Como a estimativa está baseada na diferença da quantidade do material que entra no processo e no que sai deste, um pequeno erro nos valores de entrada e/ou saída podem resultar em grandes erros percentuais nas estimativas das emissões. Por este motivo, o balanço material é inapropriado para se estimar pequenas perdas (EPA, 1999; EPA, 1997b).

O quadro 4.3 a seguir ilustra a equação fundamental para a aplicação do método.

Quadro 4.3: Equação Básica para Estimativa de Emissões para Balanço de Massa

$$E_x = (Q_{in} - Q_{out}) \times C_x \quad (4.1)$$

Onde,

- E_x = Emissão total do solvente X;
- Q_{in} = Quantidade de material que entra no processo;
- Q_{out} = Quantidade de material que sai do processo;
- C_x = Concentração do poluente X que entra no material.

Fonte: Elaboração Própria

O termo Q_{out} pode referir-se à quantidade de material recuperada ou que deixa o processo como produto ou na corrente gasosa.

Análise do Combustível

De acordo com a EPA (1999) a análise de combustível pode ser utilizada para estimativa de emissões com base nas leis da conservação de massa.

Assim, a presença de um elemento ou composto no combustível indicará também a presença no efluente gasoso, com, por exemplo, o enxofre presente no combustível pode ser convertido a SO_2 durante o processo de combustão.

Então com o conhecimento da concentração de enxofre no combustível e a razão mássica de utilização é possível realizar a estimativa da emissão, conforme equação (4.2) genérica abaixo ilustrada:

$$E = Q_f \times [\text{concentração do poluente combustível}] \times M_{Me} / M_{Mc} \quad (4.2)$$

Onde,

E – taxa de emissão do poluente;

Q_f – consumo de combustível;

M_{Me} – massa molecular do poluente no combustível;

M_{Mc} – massa molecular do poluente no combustível.

Modelos de Estimativa de Emissões

Alguns tipos de emissões como as emissões evaporativas de tanques de estocagem de hidrocarbonetos voláteis e emissões derivadas das operações de movimentação e/ou estocagem de materiais agregados possuem um comportamento muito particular em relação às fontes pontuais convencionais.

A EPA trata este tipo de emissão com a utilização de modelos computacionais baseados em equações matemáticas teóricas que descrevem aquele comportamento irregular cuja calibração se faz com a utilização de dados reais. Estes modelos também podem estar baseados em equações empíricas descritivas, usualmente baseadas em correlações estatísticas (EPA, 1997b; EPA, 1996).

Os modelos de emissões são usados para estimativas onde a abordagem convencional se torna muito complexa e enfadonha ou em situações onde as emissões são afetadas por uma combinação de parâmetros, que se consideradas individualmente não produzem o mesmo efeito sobre elas.

Estes modelos comportam um grande número de equações que consideram as variáveis importantes na descrição do fenômeno.

No caso das emissões evaporativas oriundas da estocagem de hidrocarbonetos voláteis, a EPA (1999) considera que as estimativas devem ser realizadas com a utilização do programa *TANKS* que incorpora variáveis como: cor do tanque, temperatura e velocidade dos ventos nos cálculos.

Julgamento de Engenharia

O Julgamento de Engenharia deve ser adotado na estimativa das emissões quando nenhum dos métodos anteriormente citados puder ser usado.

Este método envolve a aplicação de especulações ou considerações baseadas na experiência de profissionais especializados no ramo da atividade. Adota também fatores de emissão de procedência duvidosa ou pouco documentados, além de balanço material grosseiro (EPA, 1997a).

Nos casos onde não existem fatores de emissão disponíveis, podem-se utilizar fatores originários de categorias de fontes similares usando o julgamento de engenharia.

Fatores de Emissão

Segundo a EPA (1999; 1997a; 1997b), fator de emissão é a razão entre a quantidade de poluente liberada para a atmosfera e o nível de atividade associada com esta liberação de poluentes.

O nível de atividade pode ser expresso, por exemplo, em termos de taxa de produção ou quantidade de combustível consumido. Assim, se o fator de emissão e o correspondente nível de atividade para um processo é conhecido, a estimativa da emissão pode ser realizada.

Em muitos casos, os fatores de emissão são expressos como um número que assume a existência de uma correlação linear entre as emissões e o nível específico de atividades, nestes casos, o uso dos fatores de emissão é simples e direto.

O desenvolvimento dos fatores de emissão considera a existência ou não de mecanismos de controle das emissões. A consideração dos mecanismos estabelece fatores de emissão com controle e a não consideração de fatores de emissão sem controle.

As emissões por este método podem diferir bastante das emissões reais, em função dos fatores de emissão serem derivados de médias obtidas de um amplo intervalo de dados com variados graus de exatidão. Os fatores podem, portanto levar a estimativas maiores do que as emissões reais para algumas fontes e menores para outras. Quando se necessita de estimativas com grau de exatidão elevado a EPA recomenda a realização de amostragens de chaminés, onde é possível medir a contribuição real de cada fonte.

O emprego de fatores de emissão na previsão das emissões de plantas em fase de instalação deve ser acompanhado de uma revisão da mais recente literatura e tecnologia para determinar se tais fontes exibirão emissões com características diferentes daquelas das quais os fatores de emissão são derivados.

Os fatores de emissão podem ser desenvolvidos com base em informações nacionais num amplo intervalo de dados de amostragens de chaminés ou estimativas de consumo ou produção nacionais, ou ainda, em informações regionais ou locais.

Segundo a EPA (1997b) os fatores de emissão nacionais devem ser usados quando:

- Não existirem fatores locais;
- Quando as características das fontes regionais forem similares às nacionais;
- Quando a fonte tiver baixa prioridade no inventário.

Os fatores de emissão regionais devem ter preferência quando em nível nacional não considerarem as variações locais e/ou a tipologia da fonte emissora possuir alta prioridade na região de abrangência do inventário.

Os fatores regionais são desenvolvidos com base em inspeções às atividades, medidas diretas, dados de consumo e adaptações de informações disponíveis em produtos de licenciamento ou inventários existentes.

Os fatores de emissão são geralmente expressos como massa de poluente dividido pela unidade de massa, volume, distância, ou duração da atividade geradora.

Para o cálculo das emissões com a utilização dos fatores são necessárias algumas informações básicas, tais como:

- Informação do processo da atividade como especificado pelo fator de emissão;
- O fator de emissão corresponde a fim de transformar a informação do processo da atividade em estimativa de emissão com controle ou sem controle;
- Informações sobre a eficiência dos mecanismos de captura e controle das emissões, quando aplicável.

A equação básica do algoritmo de estimativa das emissões, segundo a EPA (1999; 1997b) para fatores sem controle pode ser expressa como:

$$E = A \times FE \times (1 - ER/100) \quad (4.3)$$

Onde,

E - Estimativa da emissão para a fonte;

A – Nível de atividade;

FE – Fator de emissão sem controle;

ER – Eficiência global da redução das emissões, expressa em porcentagem e igual a eficiência do mecanismo de captura versus a eficiência do mecanismo de controle.

Para fatores de emissão com controle, o termo $(1 - ER/100)$ já está incorporado sendo a equação simplificada e representada como:

$$E = A \times FE \quad (4.4)$$

Onde,

E - Estimativa da emissão para a fonte;

A – Nível de atividade;

FE – Fator de emissão com controle.

Os programas regulatórios da gestão da poluição do ar nos EUA, segundo a EPA (1999; 2002), alcançaram índices de redução menores do que o previsto para algumas categorias de fontes.

Com objetivo de corrigir a defasagem nos índices de redução das emissões, a EPA recomenda a utilização de um fator denominado *Rule Effectiveness* – RE.

O RE é um ajuste que reflete a habilidade do programa regulatório em alcançar os níveis de redução das emissões fixadas na região. Considera, portanto o fato de muitos equipamentos de controle não atingirem a todo o tempo e sob todas as condições as taxas nominais de redução, devido ao inadequado funcionamento, erros de operação, inconstância na manutenção, etc., impedindo-o de operar na faixa ótima.

O fator pode ser aplicado em nível federal, estadual, ou local, e não deve ser utilizado quando não houver controle instalado ou quando não existir exigência legal.

Segundo a EPA (1997b), para inventários de base anual sob a orientação da CCA, a EPA permite o uso do valor do fator RE igual a 80%, porém encoraja as agências estaduais ou locais à derivação de fatores com características da região.

A EPA dispõe de uma referência básica para os *criteria pollutant* onde estão compilados inúmeros fatores de emissão de fontes industriais, o AP-42(EPA, 1995).

Além de apresentar os fatores de emissão, o AP-42 fornece um indicador de qualidade para cada fator publicado.

Estes índices servem para avaliar a confiabilidade dos métodos utilizados na obtenção dos fatores, indicando, portanto a qualidade dos métodos de amostragem de chaminé.

Os seguintes índices estão associados à qualidade dos fatores de emissão publicados no AP -42, FIRE, ou em qualquer outro documento da EPA:

A – Excelente – o fator de emissão foi obtido de uma amostra de categoria de fonte com variabilidade mínima em relação a população e, cujo índice do teste de chaminé foi excelente(A).

B – Acima da média – o fator de emissão foi desenvolvido com um número razoável de categoria de fontes da população e, cujo teste de chaminé também indicou índice máximo (A). Entretanto, existem dúvidas com relação a representatividade da amostra.

C – Média – o fator de emissão foi desenvolvido a partir de dados cujos testes de amostragens de chaminé tiveram índices A (excelente) e B(acima da média). Embora não esteja evidente que as fontes testadas representem uma amostra representativa da categoria.

D – Abaixo da Média: o fator de emissão foi desenvolvido a partir de testes de amostragens de chaminé que receberam índices excelente (A) ou acima da média (B), porém existem razões para suspeitar da representatividade destas amostras em função do pequeno número de fontes analisadas.

E – Baixo: os fatores de emissão foram desenvolvidos de testes de chaminés com índices C (média) e D(abaixo da média) e, portanto existem razões para se suspeitar sobre a representatividade da amostra.

U – Não indexável: o fator de emissão foi desenvolvido a partir de dados sem documentação adequada que permitisse a aplicação dos índices “A” até “E”. Este índice pode ser aplicado nas seguintes circunstâncias:

- U₁ – Balanço de Massa
- U₂ – Amostragens de chaminés com inadequado controle de qualidade.
- U₃ – Transferência de Tecnologia;
- U₄ – Julgamento de Engenharia;
- U₅ – Deficiência na documentação.

iii. Coleção dos Dados (Compilação dos Dados)

Para os inventários de fontes pontuais a EPA (1997b) considera que a obtenção das informações é etapa fundamental a ser contemplada na fase inicial de planejamento envolvendo os seguintes métodos relacionados:

- Envio de questionários;

- Inspeções ou vistorias na plantas industriais;
- Revisão dos arquivos das agências ambientais.

A seleção dos métodos apropriados na busca e reunião das informações permeia as considerações iniciais sobre o nível de detalhamento a ser atingido no inventário, ou seja, se em nível de planta, se em nível pontual ou, ainda, se em nível de processo, conforme definido anteriormente.

Envio de Questionários

A investigação com a utilização de um questionário é uma técnica comumente utilizada pelas agências ambientais nos EUA.

O objetivo principal dos questionários é a obtenção de informações gerais ou específicas sobre o processo produtivo da empresa, o consumo de combustível, etc. ,e a busca na identificação das fontes emissoras.

A elaboração dos questionários pode estar baseada no mero conhecimento do nome da empresa, sem se conhecer previamente os processos e emissões envolvidas cabendo aí a aplicação de perguntas gerais ou no conhecimento prévio, através dos documentos do órgão ambiental, do processo e possíveis fontes cabendo assim um questionário para confirmação ou atualização de dados, porém mais específico.

Um sistema de controle de envio e recebimento deve ser estabelecido para se conhecer o *status* do processo em cada etapa da investigação.

Inspeções ou Vistorias nas Plantas

Oferece a oportunidade de se examinar detalhadamente o processo da unidade industrial, e de se obter informações juntamente com o responsável pela planta além de se poder identificar os possíveis pontos de emissões atmosféricas da fábrica.

Segundo a EPA (1997b) a inspeção nas plantas industriais é uma técnica de coleção de dados intensiva em recursos com muitas vantagens sobre a utilização de questionários, dentre elas destacam-se:

- Fornece informações mais completas e exatas do que as obtidas em um questionário;

- Permite a obtenção de conhecimento mais aprofundado de uma unidade complexa;
- Reduz os erros derivados da má interpretação das perguntas do questionário ou de sua compilação pelo executor do inventário.

Quando a planta industrial tiver prioridade e recursos disponíveis comprovados, pode-se realizar no momento da inspeção a amostragem de chaminé para a obtenção de dados mais exatos.

Revisão dos Arquivos das Agências Ambientais

Em geral uma agência ambiental possui arquivos especiais ou banco de dados que podem ser acessados para a obtenção das informações necessárias à realização do inventário de emissões.

Estes arquivos incluem processos de licenciamento, cadastro industrial, relatórios de vistorias, relatórios técnicos de caracterização das emissões, entre outros, sendo, portanto, importantes fontes de informação.

Os processos de licenciamento possuem uma grande quantidade de informações que descrevem a natureza da fonte e auxiliam na determinação das estimativas das emissões. Alguns processos podem ainda incluir testes ou amostragens de chaminés que podem ser utilizados no inventário.

As agências americanas possuem os *compliance file* que registram os esforços das atividades na tentativa de se adequar legalmente.

Estes arquivos podem conter listas dos principais regulamentos das emissões atmosféricas aplicáveis a uma dada fonte, além de fornecer um histórico do processo de adequação com a utilização de tecnologia de controle. Da mesma forma que nos processos de licenciamento estas informações podem ser muito úteis em um inventário de emissões.

iv. Documentação e Apresentação

O EPA (1997a) refere-se à etapa de documentação como parte essencial no desenvolvimento de um inventário de emissão, sendo necessária para a preparação de um documento tecnicamente confiável.

O objetivo da documentação é assegurar que a compilação final do banco de dados gerado reflita com exatidão o esforço despendido em todo o processo do inventário, sendo assim a documentação é necessária para apoiar as etapas de avaliação do controle de segurança e do controle de qualidade, permitindo a identificação de erros cometidos em considerações, cálculos ou métodos de estimativas aplicados e suas respectivas correções.

Deve ainda assegurar a reprodutibilidade das estimativas incluindo todas as informações necessárias aos cálculos das emissões, bem como os recursos utilizados para realizá-los. A documentação servirá, portanto para a consolidação de um inventário de emissões consistente que poderá servir como base para a realização de inventários futuros.

A documentação de um inventário, segundo a EPA (1999) envolve duas fases:

- Documentação de toda a coleção de dados e das atividades de estimativa das emissões;
- Compilação do inventário na sua versão final.

A primeira fase consta de revisão periódicas que ocorre, portanto durante toda o desenvolvimento do inventário. E a segunda de uma revisão no documento final gerado.

Os principais procedimentos que compõem a etapa de documentação envolvem:

- Citação dos métodos usados para a coleção dos dados;
- Descrição das considerações realizadas na coleção e análise dos dados;
- Memória dos cálculos;
- Identificação das fontes não incluídas no inventário;
- Citação de todas as informações usadas nos cálculos das estimativas, bem como os fatores de emissão utilizados;
- Considerações utilizadas nos cálculos.

v. Controle de Qualidade / Garantia de Qualidade

O desenvolvimento do inventário de emissões conduzido pela EPA requer a implantação de um programa de controle e garantia da qualidade em todas as etapas do processo.

Conforme ressaltou a EPA (1997a; 1997c) “O principal objetivo da aplicação dos procedimentos de controle e garantia de qualidade nos inventários de emissão é a produção de uma base de dados útil, exata e confiável”.

O programa de qualidade deve ser descrito na etapa de planejamento inicial, especificamente no Plano de Trabalho do Inventário, e deve ter perfeita concordância, em termos de procedimentos ou técnicas adotadas, com o objetivo do inventário.

Em geral os programa de qualidade compreendem dois componentes distintos: controle de qualidade e a garantia da qualidade.

Controle de Qualidade: é a aplicação de um conjunto de atividades técnicas padronizadas que medem e controlam a qualidade do desenrolar do inventário, a fim de assegurar a qualidade dos dados finais.

As atividades de controle incluem revisões técnicas, checagem de exatidão, além do uso padronizado de procedimentos para o cálculo das emissões.

Estas atividades asseguram a primeira checagem da qualidade e devem ser estendidas a todas as etapas do desenvolvimento do inventário: planejamento, coleção e análise de dados, cálculo das emissões e documentação.

Segundo a EPA (1997c) a melhor forma de implementação do controle de qualidade é o uso de *checklist* padronizados que avaliam a adequação dos dados e procedimentos adotados.

As *checklist* incluem argumentações que auxiliam na investigação da completude do inventário, do uso de procedimentos padronizados e no bom senso das decisões tomadas.

Garantia da Qualidade: é um sistema de revisão externa e procedimentos de auditorias conduzidos por equipes não envolvidas diretamente no desenvolvimento do inventário.

Segundo o EPA (1997c), é uma revisão independente e objetiva, conduzida por terceiros, para avaliação da efetividade do programa de controle de qualidade, completude, exatidão, precisão e representatividade do inventário.

O principal procedimento adotado é a auditoria que avalia o desempenho do desenvolvimento do inventário. Estas auditorias revelam a efetividade do controle de qualidade e a necessidade de implantação de procedimentos adicionais.

Especificamente, as auditorias são ferramentas gerenciais usadas para:

- Sinalizar o desempenho das equipes executoras;
- Avaliar a efetividade dos procedimentos técnicos e de qualidade usados no desenvolvimento dos dados;
- Determinar se os objetivos do programa de qualidade estão em conformidade com o especificado no Plano de Trabalho;
- Identificar necessidades adicionais de procedimentos de controle de qualidade;
- Racionalizar custos associados com o desenvolvimento do inventário.

Além destas duas técnicas mencionadas para o controle de qualidade, a EPA desenvolveu um sistema denominado Sistema de Atribuição de Índices a Dados – *Data Attribute Rating System* que auxilia na avaliação dos dados dos inventários de emissões.

Este sistema desagrega o inventário de emissão evidenciando os fatores de emissão e os dados de operação ou nível de atividade que recebem uma pontuação.

O critério de pontuação está baseado no que se conhece sobre os parâmetros desagregados, por exemplo, a especificidade da categoria da fonte inventariada ou as medidas e técnicas de estimativas das emissões empregadas.

A pontuação total leva a um índice global que traduz a confiabilidade do inventário.

4.6 A Iniciativa Brasileira

A Resolução CONAMA (1989) institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR como: “... um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para a proteção da saúde e bem estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura”.

O PRONAR adota como estratégia básica a limitação, em nível nacional, das emissões por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle.

Naquela Resolução são definidos alguns instrumentos de apoio e operacionalização a fim de tornar as ações de controle definidas pelo PRONAR concretas, dentre os instrumentos elencados destaca-se o Programa Nacional de Inventário de Fontes Poluidoras do Ar.

Como definido na própria Resolução CONAMA (1989): “Como forma de subsidiar o PRONAR, no que tange às cargas e locais de emissão de poluentes, é estratégica a criação de um Inventário Nacional de Fontes de Emissão objetivando o desenvolvimento de metodologias que permitam o cadastramento e a estimativa das emissões, bem como o devido processamento dos dados referentes às fontes de poluição do ar”.

A fim de dar continuidade às ações de fomento do PRONAR, o Ministério do Meio Ambiente, através do Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental, promoveu recentemente, entre 29 e 30 de maio de 2003, o I Seminário de Inventário de Emissões de Poluentes do Ar.

Neste seminário foi constituído um grupo técnico com a participação de alguns especialistas com excelência na elaboração de inventários de emissão de poluentes do ar em fontes fixas e móveis para a criação futura de um Plano de Trabalho.

Na ocasião discutiram-se estratégia e diretrizes capazes de harmonizar os procedimentos existentes e a implementação para as diversas categorias de fontes existentes, sendo as fontes móveis tratadas em subgrupo de trabalho separado das fontes fixas por possuírem critérios mais bem definidos.

A discussão permeou ainda a definição de critérios com relação à qualidade e confiabilidade dos dados, além da uniformidade na formatação, a exemplo do que ocorre no modelo americano.

Como resultado do seminário elaborou-se um esboço do Plano de Trabalho com a definição das diretrizes básicas a serem complementadas em encontros futuros pelo grupo técnico.

Apesar de ainda não existir no Brasil, em nível federal, obrigatoriedade na declaração das fontes e emissões atmosféricas, existem esforços institucionais, em nível estadual, que têm promovido a execução do inventário de fontes fixas e móveis, esta última com maior ênfase, com base em metodologias tradicionalmente utilizadas no mundo, principalmente a metodologia americana.

Assim alguns estados como o Rio Grande do Sul, São Paulo, Espírito Santo e Pernambuco possuem iniciativas neste sentido.

Recentemente o órgão ambiental do Rio de Janeiro a Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente – FEEMA, consolidou o seu inventário de fontes de poluentes atmosféricos para a Região Metropolitana, executado com base na metodologia sugerida pelo EIIP.

O capítulo seguinte mostra a utilização da ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Capítulo 5- O Desenvolvimento da Ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), devido ao seu intenso crescimento urbano-industrial ocorrido nas últimas décadas, é considerada área crítica em termos de poluição atmosférica e, portanto prioritária com relação às ações de controle.

Segundo a FEEMA (2002), algumas áreas da RMRJ, por comportarem um grande número de fontes de emissão atmosférica, já apresentam comprometimento da qualidade do ar.

Portanto é fundamental, para a gestão da poluição do ar, a definição destas áreas impactadas além da identificação, qualificação e quantificação das fontes emissoras de

poluentes atmosféricos, ou seja, a implementação da ferramenta: Inventário de Emissões Atmosféricas.

Este capítulo está dedicado a descrever o processo de Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias na RMRJ, onde se procurou traçar um diagnóstico da gestão da poluição ar que vem sendo desenvolvida pelo Órgão Ambiental, ressaltando a necessidade de complementação dos instrumentos atualmente utilizados com a inserção desta ferramenta para a gestão mais efetiva do ambiente atmosférico.

5.1. Caracterização da Área em Estudo: Região Metropolitana do Rio de Janeiro

De acordo com a Fundação CIDE (2001), a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) congrega 20 municípios e ocupa uma área de 5693,5 km², equivalente a 12,9% de todo o Estado. Abriga uma população de 11 milhões de pessoas, cerca de 76% do Estado, das quais quase 60% vivendo no município do Rio de Janeiro.

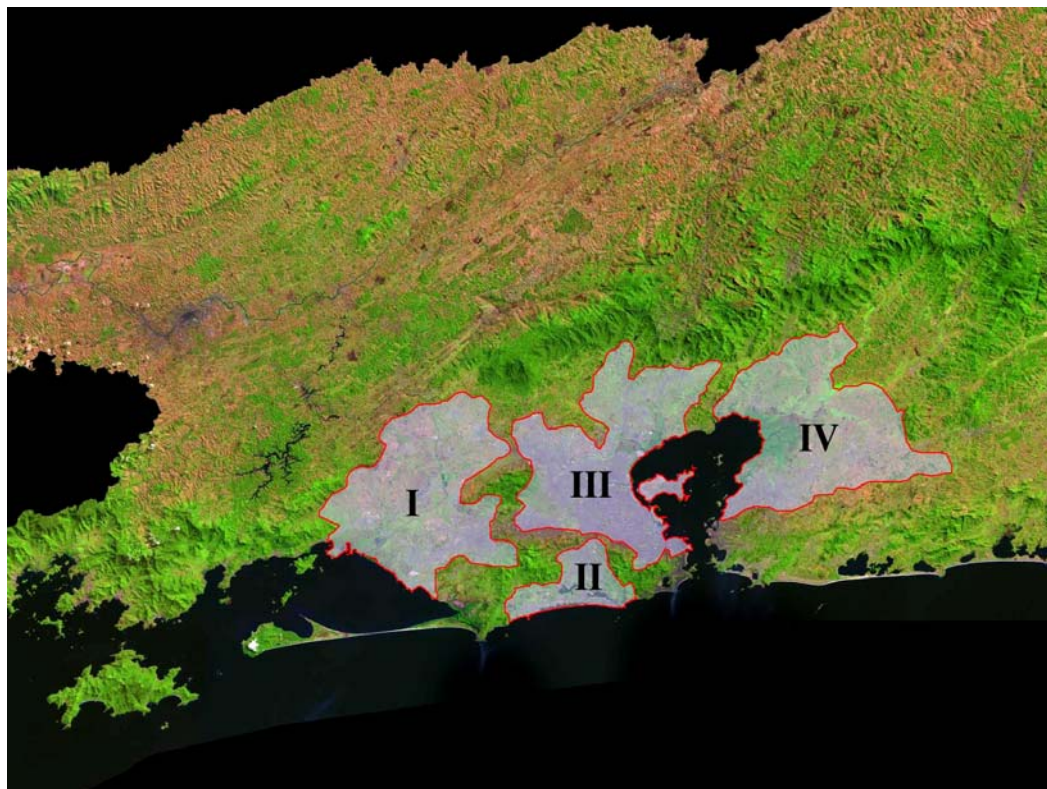
Dentre as regiões metropolitanas do país a do Rio de Janeiro é a mais densamente povoada, aproximadamente 1900 hab/km², e a de maior renda interna do Estado e de 13% da nacional.

A Região Metropolitana, por concentrar a maior ocupação urbana industrial do Estado, vem apresentando sérios problemas de poluição do ar ainda mais intensificado devido as suas características físicas como: a acidentada topografia da região; a presença do mar e da Baía de Guanabara que produzem um fluxo de ar complexo e heterogêneo quanto à distribuição e dispersão dos poluentes; e ao clima tropical, que favorece os processos fotoquímicos e outras reações na atmosfera, gerando poluentes secundários. Além destes fatores físicos alia-se a sua heterogênea e intensa ocupação do solo (FEEMA, 2001b; FEEMA/GTZ, 1995; MAIA, 1990).

As influências topográficas e meteorológicas da região indicavam a necessidade de se subdividi-la em quatro sub-regiões, com características mais homogênea sob o ponto de vista da gestão da qualidade do ar. Então a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) dividiu a Região Metropolitana em quatro sub-regiões, denominadas “Bacias Aéreas”, em um estudo de dimensionamento da rede de monitoramento da

qualidade do ar, de acordo com a figura 5.1(CAVALCANTI, 2003; MAIA, 2003; MAIA, 1997a; MAIA, 1997b).

Figura 5.1: Bacias Aéreas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro



Fonte: CAVALCANTI (2003).

- Sub-região I ou Bacia Aérea I: ocupa uma área de aproximadamente 730 Km² localizada na Zona Oeste da RMRJ.
- Sub-região II ou Bacia Aérea II: localizada no município do Rio de Janeiro, envolve as regiões administrativas de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, possuindo cerca de 140 Km² de área.
- Sub-região III ou Bacia Aérea III: ocupa uma área de cerca de 700 Km², compreendendo a Zona Norte do município do Rio de Janeiro e os municípios da Baixada Fluminense.

- Sub-região IV ou Bacia Aérea IV: com área de quase 830 Km², abrange os municípios de São Gonçalo, Itaboraí, Magé e Tanguá.

Dentre as sub-regiões citadas, a Bacia Aérea III assume um papel de destaque em relação às demais por abrigar a maior parte da ocupação urbano industrial do Estado e, como conseqüência, possui um grande potencial de fontes de emissões de poluentes, sendo considerada área prioritária para as ações de controle da gestão da qualidade do ar.

5.2 Principais Fontes de Emissões Atmosféricas

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro encontra-se a segunda maior concentração de veículos, de indústrias e de fontes de poluentes do país (FEEMA, 2001a; MAIA, 2001; MAIA, 2000), sendo os veículos automotores e as indústrias as principais fontes de emissão atmosférica.

5.2.1 Fontes Fixas

Segundo a Fundação CIDE (2001) e FIRJAN (2002), o número de estabelecimentos industriais na RMRJ do gênero transformação que compreende as indústrias de produtos minerais não metálicos, químicos, farmacêuticos, têxtil, dentre outras, é de cerca de 10.711 unidades para o ano de 1999, sendo a grande maioria indústrias de pequeno e médio porte, mas que possuem um potencial poluidor considerável.

A tabela 5.1 a seguir mostra o número de estabelecimentos industriais, por classes, para o ano de 1999, para o estado e para os municípios.

Tabela 5.1: Estabelecimentos Industriais, por classes, segundo Regiões de Governo e Municípios, 1999.

Estabelecimentos				
Industriais por Classes				
Regiões de Governo E Municípios	Extrativa Mineral	Indústria de Transformação	Serviços e Indústria de Utilidade Pública	Construção Civil
Estado	561	15660	328	6834
Região Metropolitana	239	10711	190	4770
Rio de Janeiro	100	7019	139	3265
Belford Roxo	1	144	2	49
Duque de Caxias	5	866	9	178
Guapimirim	2	42	-	7
Itaboraí	14	149	1	47
Itaguaí	30	53	1	40
Japerí	2	9	-	9
Magé	5	138	1	22
Mangaratiba	2	4	1	9
Marica	5	51	1	21
Nilópolis	-	117	2	36
Niterói	7	473	16	342
Nova Iguaçu	6	507	4	157
Paracambi	2	31	2	3
Queimados	7	39	2	11
São Gonçalo	8	628	4	158
São João de Meriti	2	407	4	94
Seropédica	38	17	-	17
Tanguá	3	17	1	5

Fonte: Adaptação a partir da Fundação CIDE (2001).

A atividade industrial da RMRJ conta com as classes discriminadas na tabela 5.1, sendo a indústria de transformação a classe que exhibe maior potencial poluidor em termos de emissões atmosféricas, de efluentes líquidos e de resíduos sólidos.

A tabela 5.2 assinala as principais tipologias industriais representativas de fontes de emissão atmosférica da RMRJ.

Tabela 5.2: Principais Fontes de Emissões Industriais da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, 2002.

Química	Petrobras-Gerência Industrial, Nitriflex, Paraibuna, FCC, Merck, Pan-americana, Bayer
Petroquímica	Reduc, Manguinhos, Petroflex, Ecolub, Polibrasil
Farmacêutica	Glaxo-Smithkline, Sanofi Winthrot, Procosa
Asfalto	Delta Construções, Reol Construtora, Metropolitana, Sanebrás Engenharia, Mirak
Metalúrgica	Gerdau, Vale-Sul
Papel	Klabin, Cibrapel
Fundição	Casa da Moeda , Forjas Rio, Sarcor
Alimentícia	Ambev, Kaiser, Nestlé
Têxtil	Bergitex, Marialva Têxtil
Cerâmica	Nossa Senhora da Conceição, Três Mangueiras, Santa Izabel
Naval	Eisa, Enavi, Renave
Geração de Energia	Termoelétrica de Santa Cruz

Fonte: FEEMA (2002).

5.2.2 Fontes Móveis

Como em todos os centros urbanos do país, a contribuição relativa das emissões provenientes de veículos automotivos é muito significativa e supera as emissões geradas por fontes fixas (LA ROVERE *et. al.*, 2002; FEEMA, 1999).

Na Região Metropolitana, os veículos automotores constituem a principal fonte de emissão, com destaques para as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio. Os ônibus e veículos de carga são fontes preocupantes de material particulado (na forma de fumaça preta), por sua elevada concentração em localidades tipicamente residenciais e comerciais de baixa ventilação. Uma contribuição indireta e não estimada, já detectada por métodos avançados de medição, constitui-se da poeira suspensa das vias de tráfego, mesmo quando pavimentadas, e na conversão dos gases para partículas (FEEMA, 2001).

A principal contribuição nas emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos é proveniente de veículos movidos à gasolina, enquanto que os veículos movidos a diesel, principalmente ônibus e caminhões, são os responsáveis pelas emissões de óxidos de nitrogênio e enxofre, além de material particulado (FEEMA, 2001).

5.3. Panorama da Gestão da Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

A gestão da poluição do ar no Estado do Rio de Janeiro teve início em 1968, quando foram instaladas as primeiras estações de monitoramento da qualidade do ar no antigo Estado da Guanabara, com o objetivo de conhecer a qualidade do ar que a população respirava (DETRAN, 2001).

Com a criação da FEEMA, no início da década de 70, a rede de monitoramento original foi ampliada e estendida a novos municípios do Estado. Os resultados serviram para mapeamento da qualidade do ar nas regiões contempladas e para o estabelecimento de áreas consideradas como *background*.

Verificou-se que em algumas áreas a qualidade do ar já apresentava alto grau de comprometimento e que ações imediatas de controle deveriam ser implementadas. A partir

de então os esforços das ações, em nível estadual, foram concentrados no controle da poluição ambiental.

Em 1977 a FEEMA, pioneiramente no Brasil, institui o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP, através do decreto nº 1633. Esta poderosa ferramenta serviu de apoio para o cadastramento das principais fontes de poluição do ar no Estado.

Da conjugação do conhecimento sobre a qualidade do ar e o sistema de licenciamento ambiental culminavam ações de regulação que levaram, por exemplo, ao fechamento de todos os incineradores residenciais cujo potencial de poluição do ar era bastante significativo. Além da exigência pela substituição de combustíveis nas padarias, onde a lenha cedeu lugar ao gás ou ao forno elétrico. Nas indústrias houve a exigência da utilização do gás natural em substituição ao óleo combustível. Na região metropolitana, as ações reguladoras levaram a desativação das pedreiras, fontes potenciais de emissão de poeiras.

Na década de 80, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) instituiu em nível nacional o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, com o objetivo de controlar a poluição atmosférica causada por veículos automotores e, dentre as metas estabelecidas, incluiu o desenvolvimento e a implantação do Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M. Então, em 1997, o DETRAN-RJ e a FEEMA assinaram um convênio de cooperação técnica para implantar, pioneiramente no país, o Programa I/M.

Ainda na década de 80, o Conselho Estadual de Controle Ambiental (CECA) estabeleceu diretrizes para a implementação do Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera – PROCON – AR, onde as atividades poluidoras informam regularmente a FEEMA os resultados das amostragens periódicas e contínuas em chaminés e da qualidade do ar.

5.3.1 Instrumentos Legais

A gestão da poluição do ar em nível estadual é norteadada por instrumentos capazes de regular a implantação e operação de atividades geradoras de efluentes gasosos.

No caso do Rio de Janeiro, a FEEMA iniciou na década de 70 a formulação de sua base legal no controle industrial. A tabela 5.3, a seguir, resume os principais instrumentos reguladores quanto à poluição atmosférica para fontes fixas, em nível federal e estadual

Tabela 5.3: Instrumentos Legais para Controle da Poluição Atmosférica

Nível	Documento	Medida
Federal	Portaria Minter 0231, 27/04/76.	Estabelece padrões de qualidade do ar.
Federal	Lei 6938, 31/08/81.	Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
Federal	Resolução CONAMA nº 01,23/01/86	Define critérios para o licenciamento ambiental, estabelecendo a obrigatoriedade de elaboração de EIA/RIMA.
Federal	Constituição Federal, 1988, capítulo IV, Artigo 225.	Estabelece a competência da União, Estado e Municípios de “proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas”.
Federal	Resolução CONAMA nº 5, 15/06/89.	Estabelece o PRONAR, Programa Nacional de Qualidade do Ar.
Federal	Resolução CONAMA nº 3, 28/06/90.	Estabelece padrões de qualidade do ar.
Federal	Resolução CONAMA nº 8, 06/12/90.	Estabelece limites máximos de poluentes do ar para processos de combustão externa.
Federal	Resolução CONAMA nº 237, 19/12/97.	Define critérios para licenciamento ambiental.
Estadual	Decreto nº 134, 16/06/75.	Estabelece a política estadual de controle ambiental.
Estadual	Decreto nº 1633, 28/12/77.	Institui o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP.
Estadual	Deliberação CECA	Normatiza o licenciamento de atividades

		poluidoras.
Estadual	Lei nº 466, 21/10/81.	Estabelece o zoneamento industrial na RMRJ.
Estadual	Deliberação CECA nº 935, 07/08/86.	Aprova a DZ-545- Diretriz de Implementação do Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera, PROCON-Ar.
Estadual	Deliberação CECA nº 1078, 25/06/87.	Aprova a DZ-041-Diretrizes de implantação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).
Estadual	Lei nº 1356, 03/10/88.	Estabelece procedimentos vinculados à elaboração, análise e aprovação dos Estudos de Impacto Ambiental.

Fonte: CAVALCANTI (2003).

5.3.2 Monitoramento da Qualidade do Ar

“O monitoramento da qualidade do ar é um mecanismo decisivo nas políticas de controle ambiental por permitir determinar o nível de concentração dos poluentes presentes no ar e, em consequência, com base em seus resultados, viabilizar o acompanhamento sistemático da qualidade do ar na área monitorada, e dar origem a elementos básicos para a elaboração e a avaliação da eficácia de estratégias para o controle necessário da poluição do ar” (DETRAN, 2001).

O monitoramento da qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro é realizado desde de 1967, pelo extinto Instituto de Engenharia Sanitária, com as primeiras estações de amostragem da qualidade do ar.

A tabela 5.4 elenca as principais ações ou utilizações no uso final dos resultados do monitoramento realizado pela FEEMA.

Tabela 5.4: Desdobramentos de Ações Oriundas da Realização de Monitoramento

• Acompanhamento sistemático da qualidade do ar na área monitorada, comparando os resultados obtidos com os limites preconizados como padrões na legislação em vigor;
• Elaboração de diagnóstico e/ou prognóstico da qualidade do ar, subsidiando as ações governamentais no que toca ao controle das emissões;
• Identificação dos aspectos meteorológicos da região e sua interação com a qualidade do ar;
• Indicação da eficácia de estratégia de controle implantada;
• Suporte ao processo de licenciamento ambiental;
• Aferição de modelos de dispersão;
• Implementação de gestão da qualidade do ar em áreas não degradadas;
• Apoio a projetos e pesquisas com vistas à melhoria da saúde e da qualidade de vida da população.

Fonte: FEEMA (2002).

5.3.2.1 Redes de Monitoramento

A rede de monitoramento da qualidade do ar da RMRJ conta com 37 estações, sendo 32 manuais, 4 automáticas fixas e 1 automática móvel. As estações automáticas estão capacitadas à realização de medições contínuas das concentrações de poluentes gasosos, partículas inaláveis, além de parâmetros meteorológicos como direção, velocidade dos ventos, umidade e temperatura do ar. Os resultados gerados são enviados a uma estação central através de linhas telefônicas privativas, onde são processados com o auxílio de computador.

A figura 5.2 mostra a localização espacial da rede de monitoramento da qualidade do ar da RMRJ.

Figura 5.2: Configuração Espacial das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar



Fonte: FEEMA (2001).

A tabela 5.5 mostra a configuração da rede e os parâmetros monitorados em cada estação.

Tabela 5.5: Configuração da Rede de Monitoramento da RMRJ

Estação	Endereço	Parâmetros ¹⁰							
		SO ₂	NO _x	O ₃	CO	HC	M	PI	PTS
Belford Roxo	Joaquim da Costa Lima, 286								X
Bonsucesso	Praça Eloy de Andrade							X	X
Botafogo	Av. Venceslau Brás, 65							X	
C.E. Sumaré	Estrada do Sumaré (Casa do Bispo)							X	X
Centro	Av.Pres. Antônio Carlos							X	X
Centro	Av. Pres. Vargas, 963	X	X	X	X	X	X	X	
Copacabana	Rua Joseph Block, 30							X	X
Duque de Caxias	Rua Marechal Deodoro, 119							X	
Seropédica	Antiga Rio-São Paulo, Km 47							X	X
Jacarepaguá	Rua Edgard Werneck, 1601							X	X
Jacarepaguá	Estrada dos Bandeirantes, 1099	X	X	X	X	X	X	X	
Japeri	Engenheiro Pedreira		X	X	X	X	X		
Maracanã-UERJ	Rua São Francisco Xavier							X	X
Mesquita	Av. Mal. Castelo Branco s/nº								X
Nilópolis	Av. Getúlio de Moura, s/nº							X	
Niterói	Rua Feliciano Sodré, 275							X	
Nova Iguaçu	Rua Prof.Paris, s/nº							X	
Nova Iguaçu	Rua Prof.Paris, s/nº	X	X	X	X	X	X	X	
Realengo	Av. Brasil, s/nº								X
	Ciep Mal. Henrique Lott								
São Cristóvão	Av. Pedro II, 67 CEDAE							X	X
São Gonçalo	Rua Feliciano Sodré, 100							X	X
São Gonçalo	Rua Francisco Portela, 794	X	X	X	X	X	X	X	
S.J. de Meriti	Av.Automóvel Clube, s/nº Vilar dos Teles							X	X
Tijuca	Av. Heitor Beltrão, 353								X

Fonte: FEEMA (2002).

¹⁰ SO₂: Dióxido de Enxofre; NO_x: Óxidos de nitrogênio; O₃: Ozônio; CO: Monóxido de Carbono; HC: Hidrocarbonetos; M: Parâmetros Meteorológicos; PI: Partículas Inaláveis; PTS: Partículas Totais em Suspensão.

5.3.2.2 Caracterização da Qualidade do Ar na RMRJ

A caracterização da qualidade do ar de uma determinada área é obtida a partir da medição de concentrações de poluentes e a respectiva comparação com os padrões estabelecidos pela legislação.

Os poluentes usualmente monitorados, recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) são: dióxido de enxofre(SO₂), partículas em suspensão(PTS), partículas inaláveis(PI), monóxido de carbono(CO), oxidantes fotoquímicos expressos com ozônio(O₃), hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio(NO_x).

Os padrões de qualidade do ar, conforme definidos no capítulo 3, são níveis de referência estabelecidos legalmente através de um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que assegure a saúde e o bem estar das pessoas.

O estabelecimento dos padrões está baseado em estudos científicos que averiguam os efeitos produzidos pelos poluentes e são fixados em níveis tais que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Os padrões adotados no Brasil são os definidos pela Resolução CONAMA 03/90, contemplando os seguintes parâmetros: partículas totais em suspensão, fumaças, partículas inoculas, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os limites para cada poluente podem ser vistos na tabela 3.3.

A tabela 5.6 mostra a série histórica das concentrações médias anuais de partículas totais em suspensão.

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90, o padrão de qualidade do ar relativo ao material particulado em suspensão é 80 µg/m³ (média geométrica anual). Uma comparação como os valores da tabela 5.6 mostra as constantes violações ao padrão primário estabelecido para as estações de Jacarepaguá, Realengo, São João de Meriti, Bonsucesso, nos últimos cinco anos, e Copacabana, que vem demonstrando um aumento na concentração deste poluente, nos últimos dois anos.

A estação Centro mostra relativa melhora, nos últimos cinco anos, em termos de partículas totais, atingindo o padrão ambiental para o ano 2002, a demais estações apresentam valores equilibrados e abaixo do limite legal.

Tabela 5.6: Concentração Média Anual de Partículas Totais em Suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

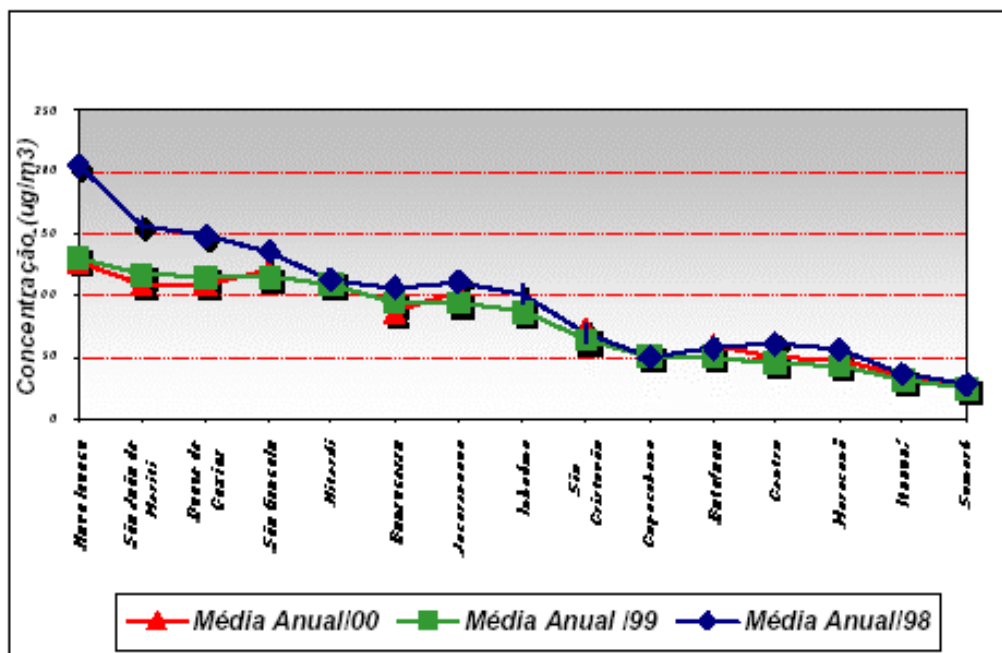
Estação	Ano													
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Itaguaí	26	323	35	32	33	42	41	44	55	44	43	43	46	47
Jacarepaguá	-	-	-	-	-	173	189	272	218	171	139	139	-	165
Realengo	-	-	-	-	-	97	101	133	120	93	94	98	94	111
São João de Meriti	134	139	122	210	194	228	245	293	288	198	174	162	166	166
Inhaúma	103	93	132	179	153	179	-	256	215	155	-	-	-	-
Bonsucesso	188	206	204	236	191	190	173	274	198	170	173	150	145	143
Maracanã	110	105	93	107	106	100	105	121	85	75	75	69	70	71
Sumaré	-	-	-	-	37	40	43	54	50	34	35	37	39	38
Centro	67	67	102	-	-	106	122	136	121	97	93	91	75	80
Copacabana	73	74	70	84	-	70	74	82	77	67	71	-	86	88

Fonte: FEEMA (2002).

A rede de monitoramento de partículas inaláveis, implantada em 1998, mostra, através da figura 5.3, o comportamento da concentração nas estações de monitoramento até o ano de 2000.

Apesar de haver uma tendência decrescente nas médias das concentrações, na maioria das áreas monitoradas os níveis ainda superam os limites para a proteção da saúde humana.

Figura 5.3: Concentração Média de Partículas Inaláveis

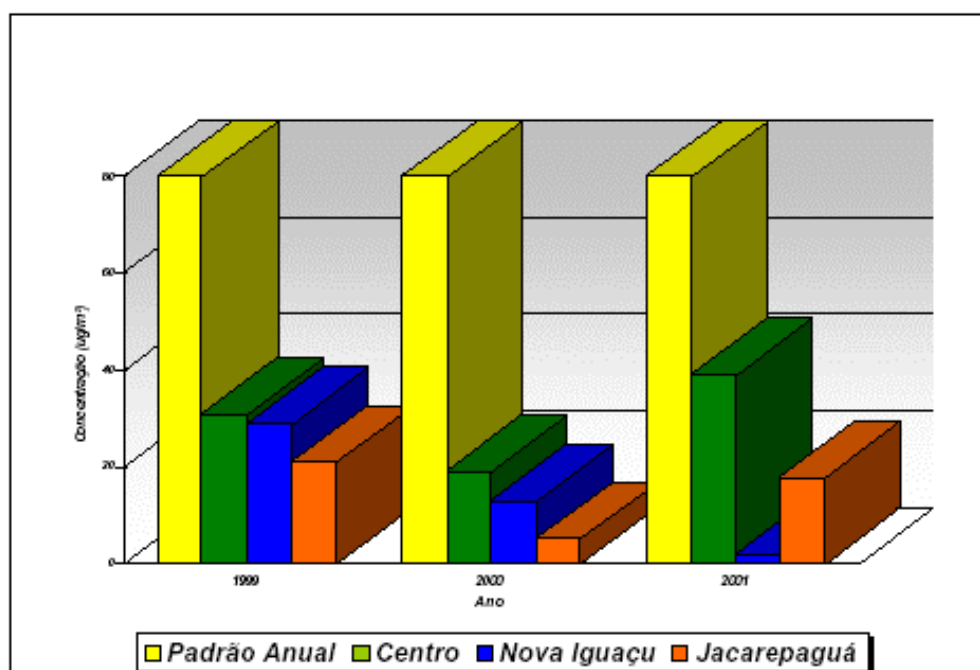


Fonte: LA ROVERE (2002).

Conforme assinalado na tabela 5.5, a FEEMA realiza o monitoramento automático para os seguintes gases: dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3) e monóxido de carbono (CO).

Para o dióxido de enxofre, a figura 5.4 mostra os resultados do monitoramento para os três primeiros anos de funcionamento da rede automática, indicando que os valores médios estavam abaixo dos limites fixados pela legislação para a proteção da saúde humana.

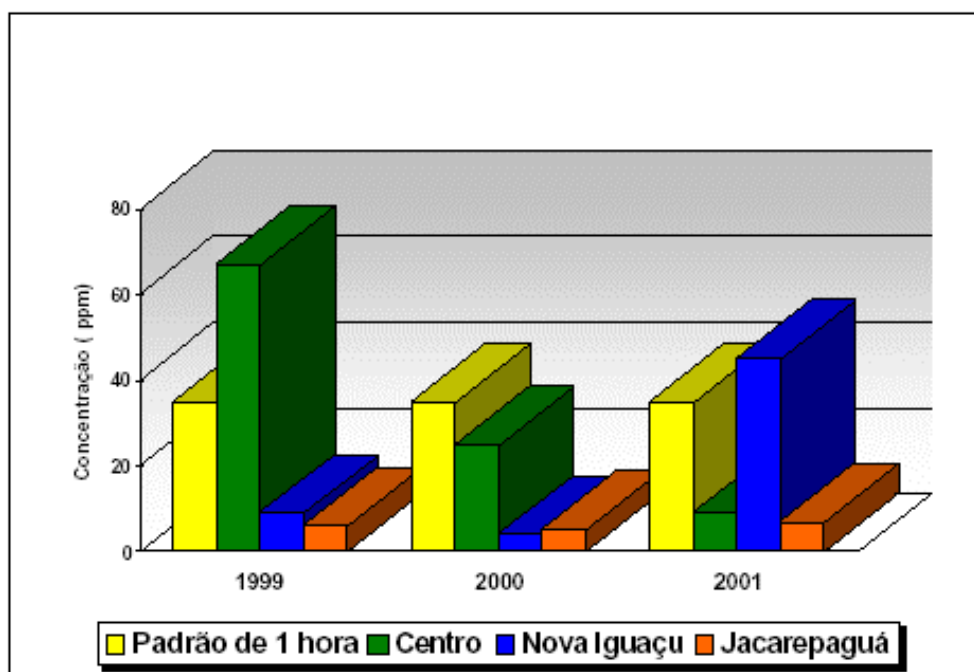
Figura 5.4: Concentração Média de Dióxido de Enxofre



Fonte: LA ROVERE (2002).

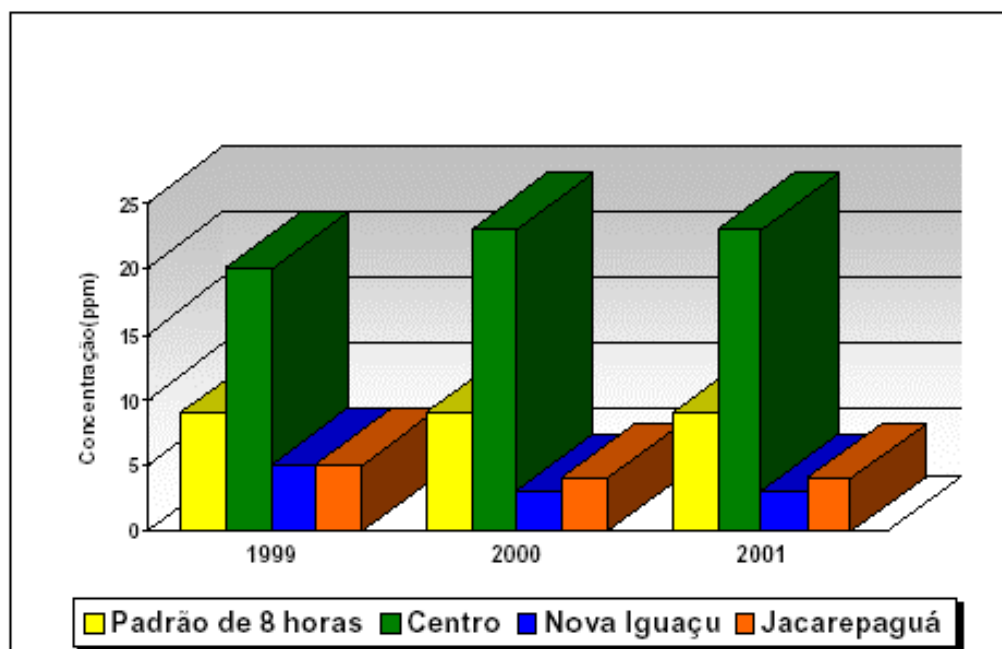
Em relação aos níveis de concentração de monóxido de carbono, não tem sido observada qualquer violação ao padrão médio horário estabelecido (35 ppm). No caso da concentração média de 8 horas (9ppm), ocorreram eventuais violações para a estação localizada no Centro. Este comportamento pode ser observado através das figuras 5.5 e 5.6.

Figura 5.5: Concentração Máxima Horária de Monóxido de Carbono



Fonte: LA ROVERE (2002).

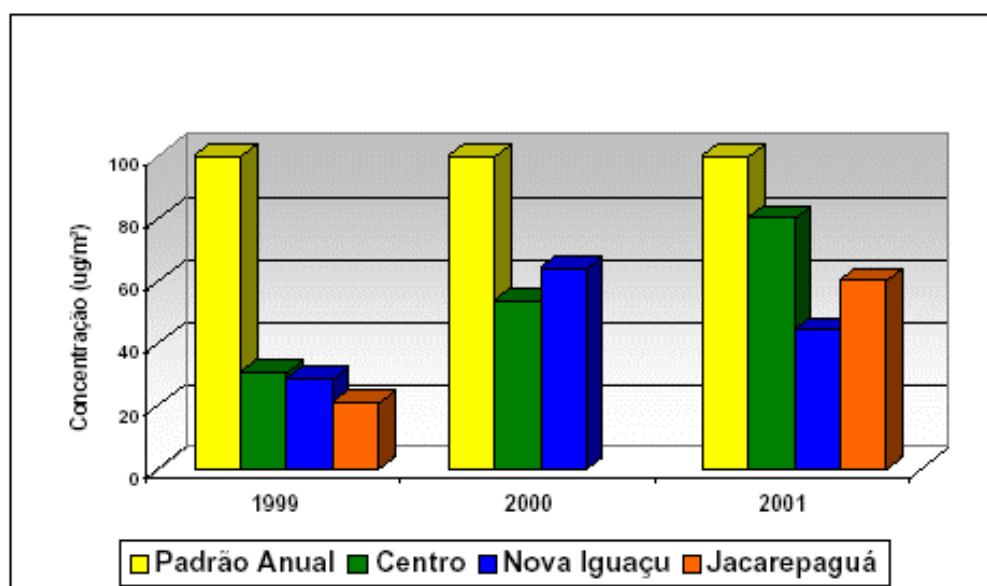
Figura 5.6: Concentração Máxima em 8 horas de Monóxido de Carbono



Fonte: LA ROVERE (2002).

Em relação à exposição de longo período, as concentrações médias anuais de dióxido de nitrogênio não têm ultrapassado o padrão legal em todas as estações de monitoramento, apresentando, no entanto uma tendência crescente, conforme ilustrado na figura 5.7. Quanto ao padrão horário, ocorreram violações nas estações do Centro e de Nova Iguaçu.

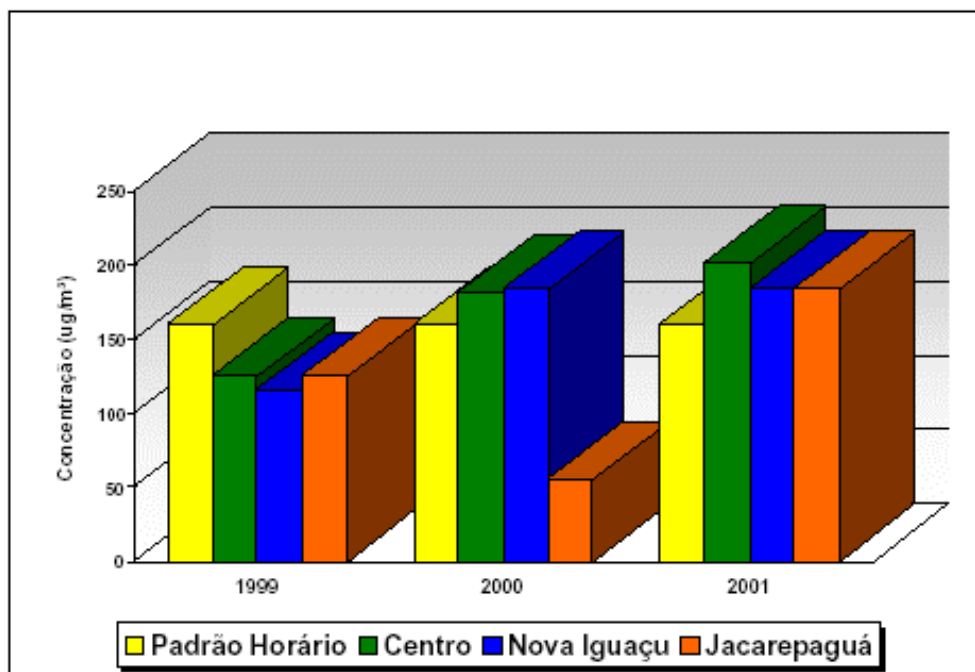
Figura 5.7: Concentração Média de Dióxido de Nitrogênio



Fonte: LA ROVERE (2002).

Ocorreram várias violações ao limite de 160 µg/m³ para o poluente ozônio, com tendência ao crescimento. A figura 5.8 mostra este comportamento.

Figura 5.8: Concentração Máxima Horária de Ozônio



Fonte: LA ROVERE (2002).

5.3.3 Licenciamento de Atividades Poluidoras

O Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP foi implantado na FEEMA há mais de 20 anos, servindo inclusive como referência à formulação do sistema nacional de licenciamento conforme definido na lei 6938/81, sendo, pois um instrumento de controle e proteção ambiental amplamente utilizado em âmbito nacional.

Durante estas duas décadas de existência, o SLAP ampliou sua área de atuação com a incorporação, a partir de 1983, de atividades não industriais como loteamentos e empreendimentos turísticos em áreas de expansão urbana, grandes obras públicas e empresas vinculadas à extração mineral. Além disso, reforçou sua estrutura de funcionamento com a inserção do estudo de impacto ambiental (EIA) e o respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA) como ferramentas obrigatórias à instalação de atividades potencialmente poluidoras.

A atuação do SLAP no controle da poluição atmosférica está balizada pela necessidade de obtenção das licenças prevista pela legislação.

Para obter as licenças, a indústria ou empreendimento deve atender a uma série de critérios legais exigidos pelo órgão ambiental. Tais exigências poderão incluir a realização de estudos de impacto ambiental específicos à poluição do ar, ou a realização de estudos mais simplificados quando couber.

A prática estabelecida na FEEMA recorre aos estudos de simulação do impacto do empreendimento na qualidade do ar da região de influência, através dos modelos de dispersão, para empreendimentos cujo aporte seja compatível com o estabelecido na Resolução CONAMA 237/97.

Os resultados originados destes estudos dão subsídios aos planejadores quanto à decisão da instalação do empreendimento, uma vez que permite conhecer o provável impacto causado na qualidade do ar.

Os parâmetros utilizados com referência no controle estadual são os mesmos utilizados em nível federal, ou seja, padrões de qualidade do ar, definidos pela Resolução CONAMA 03/90 e os padrões de emissão, definidos na Resolução CONAMA 08/90.

Além dos estudos de simulação, os EIA's estarão contribuindo com a gestão da poluição do ar se houver a contemplação de itens importantes como a descrição de possibilidades tecnológicas, a busca pela melhor tecnologia disponível, o estudo de implantação em outras áreas e a estimativas das emissões atmosféricas da operação da instalação.

No caso de empreendimentos instalados anteriormente ao sistema de licenciamento, a FEEMA estabelece uma política de controle menos restritiva com flexibilidade necessária ao fechamento de acordos bilaterais no sentido de ajustamento contínuo aos padrões nacionais.

Neste momento o órgão ambiental faz uma série de exigências quanto ao controle da poluição atmosférica, exigindo que a empresa, algumas vezes, atente para o conhecimento mais apurado de suas emissões atmosféricas através da realização do inventário de emissões atmosféricas.

Um sistema de vistorias *in situ* permite a avaliação da eficácia das ações de controle implementadas pelas instalações e supervisionadas pela FEEMA, dando sustentação ao sistema de licenciamento ambiental, e creditando a empresa à obtenção ou renovação de sua licença.

5.3.4 Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera – PROCON - AR

Na tentativa de suprir a necessidade de ampliar a ação de controle da poluição do ar, a FEEMA criou um programa denominado Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera – PROCON-AR, conforme a diretriz DZ-545.R.5 (Diretriz de Implantação do Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera).

De acordo com FEEMA (1990), as atividades vinculadas a esse sistema de automonitoramento são obrigadas a realizar amostragens periódicas e contínuas em chaminés e da qualidade do ar, com as condições pré-determinadas pelo órgão ambiental. Os responsáveis por essas atividades informam regularmente a FEEMA, por intermédio de relatórios específicos, os resultados do automonitoramento exercido.

O sistema de autocontrole, como parte integrante do SLAP, tem o objetivo de ampliar a ação de fiscalização do órgão ambiental, uma vez que os resultados obtidos pelo monitoramento da amostragem em chaminés e da qualidade do ar fornecem subsídios para formulação e avaliação de sistemas de controle a serem adotados pelas empresas testando sua eficiência na garantia à observação ao padrão de qualidade ambiental na área de influência do empreendimento.

Além disso, fornece subsídios ao estabelecimento de padrões de emissão adequados ao estado do Rio de Janeiro e na elaboração de estratégias de controle para a atmosfera, através da identificação das fontes mais significativas de emissão e da quantidade de poluentes emitidos.

O programa vem ao longo dos anos ampliando o número de adesões e atualmente várias empresas estão sendo vinculadas, já na fase de instalação, estendendo assim a malha de amostragem da qualidade do ar.

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, dentre as atividades que já implantaram o PROCON-AR podemos citar: Refinaria de Duque de Caxias - REDUC, Refinaria de Mangueiras S.A., ValeSul Alumínio S.A., Mineração Brasileira Reunidas - M.B.R., além de atividades ligadas à extração mineral e do setor de energia - Termoelétricas (FEEMA, 2002).

5.3.5 Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV

De acordo com as metas do PROCONVE, os órgãos estaduais de controle ambiental deveriam implantar, a partir de 1997, os programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso. Este programa tem o objetivo de reduzir as emissões dos poluentes através da verificação da eficiência dos sistemas de controle de emissões veiculares, uma vez que os equipamentos se deterioram ao longo do tempo, ou seja, os programas de I/M visam manter as emissões aprovadas no licenciamento do veículo, dentro dos padrões ambientais estabelecidos.

A Resolução nº 18, de 13.12.95, determina que a implantação dos Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M somente poderá ser realizada após a elaboração de Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso – PCPV, em conjunto pelos órgãos ambientais estaduais e municipais.

O PCPV estabelecido no Estado do Rio de Janeiro visa atender às Resoluções CONAMA nº 18/86 e nº 07/93, à Resolução nº 809 do CONTRAN e o cumprimento às leis 8666/96 e 2539/96, citada anteriormente. Dessa forma, foi assinado em janeiro de 1997, o convênio entre DETRAN e FEEMA a fim de cumprir a determinação dos dispositivos legais para o controle de poluentes gasosos no licenciamento de veículos automotores na RMRJ e, posteriormente, estendido a outros municípios do interior do Estado do Rio de Janeiro. A tabela 5.7 apresenta os principais objetivos do Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso – PCPV.

Segundo LA ROVERE (2002), a implantação do programa I/M encoraja a manutenção correta dos veículos e desestimula a adulteração dos dispositivos de controle das emissões, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para a economia de combustível.

Tabela 5.7: Objetivos do Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV

• Promover a melhoria da qualidade do ar, diminuindo ao máximo a emissão de poluentes dos veículos automotores;
• Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição atmosférica causada por veículos automotores;
• Conscientizar os proprietários de veículos da necessidade de manter os motores regulados;
• Realizar vistoria anual de veículos com ênfase à emissão de gases e ruídos;
• Monitorar e divulgar regularmente dados da qualidade do ar;
• Expandir as redes manual e automática de monitoramento de qualidade do ar;
• Promover e divulgar material didático visando à educação ambiental;
• Incentivar a melhoria dos serviços oferecidos pelas oficinas mecânicas com vistas ao controle da emissão de poluentes gasosos; • Cumprir a legislação do – Programa de Controle da Poluição Veicular – PROCONVE.

Fonte: FEEMA (2003).

5.3.6 Avaliação dos Instrumentos Atualmente Utilizados

Apesar de ter sido referência para políticas nacionais, a base legal instituída pelo órgão ambiental mostra-se defasada em alguns pontos, acompanhando a tendência em nível federal, no estabelecimento de padrões de qualidade quais sejam: padrões de qualidade do ar e padrões de emissão, ou em definições de critérios necessários à aplicação destes parâmetros de qualidade como, por exemplo, a classificação das áreas de uso pretendido a serem demarcadas pelo Estado conforme definido na CONAMA 08/90.

Com relação aos padrões de qualidade, observa-se especificamente, a não contemplação do poluente dióxido de nitrogênio, a não referência em relação às emissões de hidrocarbonetos totais e a restrição dos padrões de emissões que foram estabelecidos

somente para fontes de combustão externa com a utilização de óleo combustível e óleo diesel apenas, não havendo, portanto, a inclusão do gás natural.

Verifica-se, portanto, a necessidade urgente de atualização dos padrões citados buscando a contemplação de novos parâmetros úteis ao emprego efetivo das ações de controle.

Nos processos de licenciamento ambiental e estudos de impacto ambiental, aplicados a empreendimentos potencialmente causadores de poluição atmosférica, verificam-se lacunas na abordagem que não consideram os impactos cumulativos ou sinérgicos, muito menos os enquadram na devida escala de abrangência e sequer mencionam os impactos globais, segundo (CAVALCANTI, 2003).

O Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera – PROCON-AR ainda se apresenta com abrangência reduzida frente às inúmeras fontes emissoras importantes não integradas ao programa, porém a FEEMA vem trabalhando no sentido de sua expansão.

O programa I/M vem, ao longo dos anos de implantação, promovendo mudanças no comportamento do usuário que passaram a ser preocupar como as questões de segurança e de poluição do ar, mesmo sendo a vistoria realizada em caráter educativo. A implantação do programa tem atingido seu objetivo que é a melhoria da qualidade do ar, diminuindo ao máximo a emissão de poluentes dos veículos automotores e, desta forma, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população.

Os resultados do sistema de monitoramento da qualidade do ar já evidenciam a necessidade de expansão da rede para um conhecimento mais aprofundado das concentrações dos poluentes em áreas ainda não contempladas, e em áreas da RMRJ que possuem um processo de desenvolvimento industrial ainda rarefeito, mas que não possuem informações do estado original do ambiente atmosférico que caracterize uma situação de *background*.

É necessário, portanto, a utilização de ferramentas como o Inventário de Emissões Atmosféricas para dar suporte aos instrumentos descritos acima e balizar ações de

controle capazes de dar mais consistência ao trabalho que vem sendo desenvolvido pela FEEMA.

5.4 O Inventário de Fontes de Emissão de Poluentes do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Como exposto em seu relatório anual de monitoramento da qualidade do ar, a FEEMA (2001) considera que “... a estimativa das emissões atmosféricas é uma das metodologias alternativas disponíveis para o conhecimento dos problemas de poluição do ar, permitindo a atribuição das responsabilidades das diversas fontes, bem como a realização de estudos necessários para a projeção e precisão dos efeitos dos poluentes emitidos em termos absolutos e relativos. Trata-se de importante instrumento que subsidia, inclusive, a interpretação dos resultados de concentração obtidos pela rede de monitoramento”.

Conhecendo a importância desta ferramenta dentro do contexto da gestão da poluição atmosférica, o Órgão Estadual responsável pela atuação ambiental vem ao longo dos anos tomando iniciativas para tentar viabilizar e implementar um sistema de estimativa de emissões.

Já em 1973 o extinto Instituto de Engenharia Sanitária (IES) estabeleceu um sistema para estimar as emissões atmosféricas de origem industrial na cidade do Rio de Janeiro.

A partir de 1976, com a criação da FEEMA e a participação do FUNDREN, o sistema de estimativas de emissões se estendeu a todo o Estado do Rio de Janeiro.

Até 1982 as emissões atmosféricas industriais da Região Metropolitana foram estimadas através da análise de 4600 cadastros industriais cujos resultados, aliados aos dados do monitoramento, subsidiavam uma série de medidas de controle estabelecidas (FEEMA, 2002).

Entretanto, a partir da década de 80, a FEEMA mergulhou numa grave crise institucional que acabou por desmotivar iniciavas desta natureza tornando o programa de estimativa de emissões descontinuado.

No entanto, somente no final do ano de 2001 a FEEMA conseguiu dispor de recursos financeiros necessários à realização de projeto para inventariar as principais fontes emissoras da RMRJ.

A partir de então, a FEEMA elaborou o Termo de Referência onde apresentou os objetivos, as diretrizes e especificações para a elaboração do inventário de fontes.

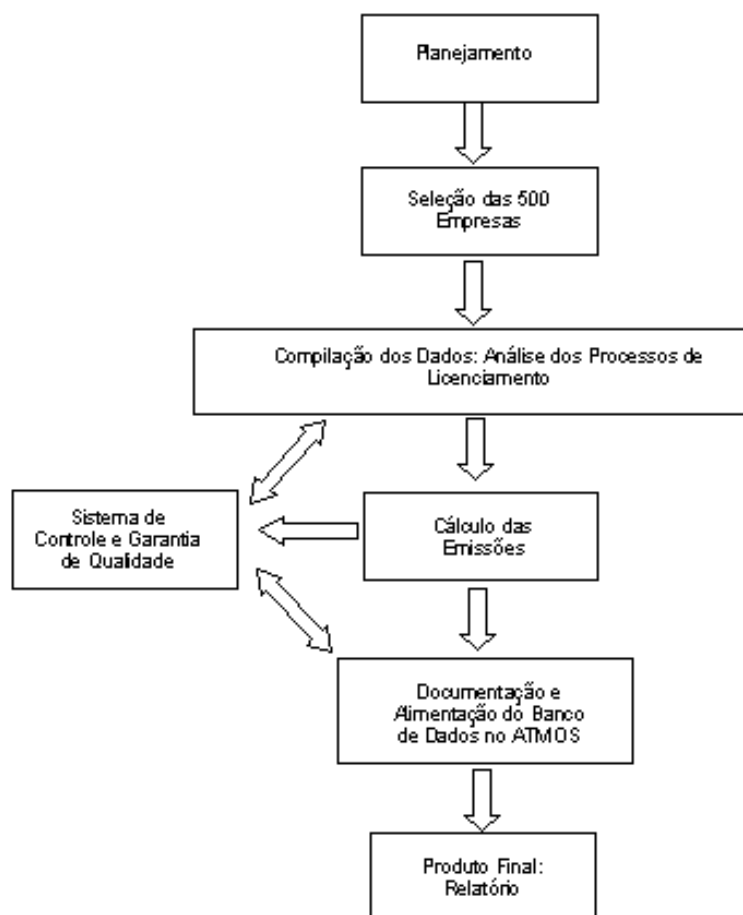
As discussões futuras abordarão somente a poluição do ar causada por fontes estacionárias, apesar de se conhecer através da literatura e, agora com os resultados obtidos, a participação indiscutível das fontes móveis como principais emissoras de poluentes atmosféricos das regiões metropolitanas do mundo.

5.4.1. O Inventário de Fontes Fixas

O processo de desenvolvimento do inventário teve como base a metodologia recomendada pelo *Emission Inventory Improvement Program –EIIP* da *United States Environmental Protection Agency* – USEPA, para fontes estacionárias (FEEMA, 2004), conforme discutidas em detalhes no capítulo anterior.

A figura 5.13 esquematiza o processo de desenvolvimento do inventário de fontes fixas, ilustrando as atividades envolvidas na sua elaboração, planejamento e execução. Fornece, portanto, uma visão geral do processo que a princípio sugere uma linearidade não retroativa, mas que na prática demonstra um dinamismo cunhado pelas inter-relações de cada etapa da atividade.

Figura 5.9: Etapas do Desenvolvimento do Inventário



Fonte: Elaboração própria a partir de EPA (1999).

Como a metodologia foi discutida detalhadamente no capítulo anterior, o que se pretende aqui é demonstrar como ocorreu o processo na FEEMA com a aplicação da metodologia mencionada e buscando ressaltar suas particularidades e/ou considerações. Para tanto, as etapas do inventário, como mostrada na figura 5.13, serão comentadas.

- **Planejamento**

A FEEMA, por meio do Termo Referência, definiu as diretrizes básicas que nortearam a elaboração do inventário.

Neste documento, o órgão ambiental define a importância desta ferramenta para suas ações de planejamento: “O inventário de fontes de emissão de poluição atmosférica constitui um dos instrumentos de planejamento mais úteis para um órgão ambiental, uma vez que define qualitativa e quantitativa as atividades poluidoras do ar e fornece informações sobre as características das fontes, definindo localização, magnitude, frequência, duração e contribuição relativa das emissões (FEEMA, 2002)”.

A FEEMA (2004) também expressa no Termo de Referência o objetivo da realização do inventário bem como o seu uso pretendido.

“Os resultados obtidos devem permitir identificar atividades e áreas críticas, aquilatar o impacto das ações de controle e necessidades futuras; estabelecer prioridades de controle; auxiliar no dimensionamento de uma rede de monitoramento da qualidade do ar e auxiliar nos estudos de uso e ocupação do solo”.

O diagnóstico gerado será de fundamental importância para a tomada de decisões no planejamento, licenciamento e controle ambiental (FEEMA, 2004).

O Órgão Ambiental definiu a área de abrangência para realização do inventário (RMRJ); sugeriu a metodologia a ser seguida; os tipos de fontes a serem abordados, dando prioridade às de grande e médio potencial poluidor e, estabeleceu o ano base de 2001 como referência para realização do trabalho.

Além disto, considerou que os poluentes a serem abordados seriam os convencionais ou contemplados pela legislação ambiental, quais sejam: material particulado, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, monóxido de carbono, e os que apresentam importância no estudo da poluição atmosférica: hidrocarbonetos (metano e não metano).

Na definição das fontes e tipos de fontes a serem contempladas a FEEMA considerou a possibilidade de se obter o mapeamento de 90% do potencial poluidor por fontes fixas na

área estudada, sendo este potencial equivalente a aproximadamente 500 atividades industriais, portanto, meta a ser atingida no estudo.

Quanto às fontes móveis segundo o termo de referencia “... deverão ser também levantados os dados atualizados de emissões poluentes, gerados por veículos automotores nos principais corredores de tráfego localizados na RMRJ” (FEEMA, 2004).

Optou-se pela utilização da abordagem *bottom-up*, descrita no capítulo anterior, para se alcançar o objetivo e uso pretendido da ferramenta, traçando-se estratégias e definições capazes de orientar o desenvolvimento e a apresentação final do inventário.

Dentre os outros pontos discutidos, destacam-se:

- A avaliação e utilidade dos dados existentes;
- Uma estratégia para a coleção e gerenciamento dos dados;
- Criação de um sistema de garantia e controle de qualidade dos dados e documentação;
- A definição clara do tipo de fonte a ser considerada e daquela a ser descartada;
- Definição dos métodos a serem empregados nos cálculos das emissões, observando a ordem prioritária no uso;
- Descrição da apresentação final do relatório.

Foram discutidas também as atribuições de responsabilidades em cada fase do processo, com definições de coordenadores e supervisores técnicos responsáveis pela boa condução dos procedimentos de garantia e controle de qualidade.

As fontes e poluentes contemplados permearam a definição prévia descrita no Termo de Referência, ressaltando a possibilidade de se efetuar um sistema de descarte de fontes que mesmo apresentando um potencial poluidor significativo, não seja possível a obtenção de informações suficientes para o cálculo das emissões, de fontes naturais e as de pequeno porte ou com baixo potencial poluidor.

A fase posterior, a seleção das empresas a serem inventariadas, iniciou efetivamente o processo de execução do inventário, conforme descrito a seguir.

- **Seleção das 500 Empresas Prioritárias**

A lista original constava de 10.306 atividades produtivas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que passou por um processo de refinamento com eliminação das atividades não industriais.

Deste universo original foram relacionadas 1876 empresas com provável potencial poluidor para a atmosfera, sendo as demais eliminadas por não apresentarem atividades capazes de emitir quantidades significativas de poluentes atmosféricos e, portanto, foram desconsideradas.

O resultado desta seleção passou por um refinamento ainda maior, com a participação intensa dos agentes ambientais cuja experiência no reconhecimento do potencial poluidor e classificação da empresa quanto à tipologia foi fundamental para a obtenção de uma lista mais concisa.

Esta lista final originou as 500 empresas prioritárias e um arquivo com cerca de 600 empresas que seriam utilizadas caso houvesse necessidade de substituição de alguma empresa prioritária.

Os critérios utilizados para a seleção das empresas prioritárias foram baseados no seu potencial poluidor, julgado em comum acordo com as decisões dos analistas do Órgão Ambiental e da classificação que consta na Classificação de Atividades Poluidoras – CAP, sistema de classificação desenvolvido pela FEEMA e aprovada pela Deliberação CECA nº 2.842 /93, cuja metodologia de codificação está baseada nos procedimentos adotados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

O CAP também serviu de base para a classificação das empresas quanto à tipologia industrial. Não se optou pelo sistema americano *Source Classification Code* –SSC (EPA, 1999) pela dificuldade em se fazer o enquadramento com a tecnologia nacional.

- **Análise dos Processos de Licenciamento: Compilação dos Dados**

Os processos de licenciamento foram as fontes primárias na obtenção das informações, especificamente os cadastros industriais e os relatórios de vistorias dos técnicos ambientais.

Tais informações serviram, primeiramente, para contemplar ou não a empresa no inventário de fontes desse estudo.

Na análise destes documentos buscava-se a identificação das fontes fixas, sua quantificação, classificação e parâmetros físicos, tais como: altura e diâmetro das chaminés de exaustão, além de informações típicas do processo, como: taxa de produção, consumo de combustíveis, número de horas trabalhadas e o conhecimento do processo industrial em si.

Todas as informações eram então coletadas e registradas num arquivo próprio para cada indústria.

Caso as informações coletadas estivessem completas e atualizadas, passava-se para a fase seguinte com o cálculo das emissões.

Em geral, os dados estavam desatualizados em relação ao ano base do inventário (2001), o que implicava num processo de atualização destes dados.

Para tanto, inicialmente estabelecia-se contato com a empresa com a finalidade de esclarecer o propósito do inventário e da necessidade de se fazer a atualização do cadastro industrial e de se obter informações específicas sobre o processo.

O pedido formal era então realizado com o envio de um questionário personalizado elaborado para cada empresa em função das necessidades específicas de informações e/ou atualizações.

As empresas que desconsideraram o envio do questionário eram novamente contatadas e, a partir de então, persistindo o desinteresse em fornecer as informações solicitadas, passaram a receber o questionário com o valor de notificação.

O emprego deste instrumento legal garantiu a quase totalidade da taxa de retorno dos questionários pendentes.

As empresas com processos industriais complexos e com potencial poluidor muito significativo foram selecionadas e avaliadas quanto à possibilidade de se realizar vistorias técnicas com finalidade de se identificar as fontes de emissão e desvendar pontos obscuros nos textos e *lay out* no cadastro industrial.

Ao todo foram realizadas cinco vistorias técnicas com grau de aproveitamento satisfatório na busca de informações.

- **Cálculo das Emissões**

Uma vez consolidado o levantamento atualizado das informações, classificaram-se as fontes estacionárias, com relação à forma de emissão, da seguinte forma: pontual ou difusa.

As fontes pontuais, em geral, com comportamento das emissões mais regular e características bem determinadas como, por exemplo, as chaminés de exaustão de gases de combustão e de processo; e as fontes difusas com comportamento das emissões mais dinâmico, estando muito sujeitas às variações operacionais e ambientais (meteorológicas). As fontes difusas foram subdivididas em fonte área e fonte volumétrica e, constituídas, por exemplo, pelas emissões industriais oriundas de processos industriais (fonte área) e de tanques de estocagem de líquidos orgânicos, transporte e estocagem de materiais fragmentados (fonte volumétrica).

Com relação ao tipo de emissão a ser considerado no inventário, conforme discutido no capítulo anterior, optou-se pelas emissões reais já que os cálculos foram baseados em taxas de produção, horas de operação e quantidade de combustível consumido para ao ano base 2001.

Os poluentes contemplados, como já foi dito, foram os considerados convencionais quais sejam: material particulado (fração inferior a 10 micra), óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos (metano e não metano).

Os métodos de cálculo das emissões sugeridos pela metodologia EIIP devem estar em concordância com a abordagem do inventário definida no planejamento: *top-down* ou *bottom-up*.

Como a abordagem definida para o inventário foi a do tipo *bottom-up*, típica de fontes pontuais, o que requer um maior rigor no sentido de apurar os dados e resulta, contudo, em dados de estimativas de emissões mais precisos, a seleção do método de cálculo foi baseada no melhor dado disponível observado para cada fonte individualmente.

Assim, após a identificação e a classificação, cada fonte teve que ser enquadrada num dos métodos de estimativas de emissões abaixo elencados, segundo a metodologia EPA (FEEMA, 2004):

- Monitoramento Contínuo de Emissões;
- Monitoramento de Fontes;

- Balanço de Massa;
- Fatores de Emissão;
- Análise de Combustível;
- Modelos de Estimativa de Emissões;
- Julgamento de Engenheira.

Os métodos de cálculo acima relacionados estão dispostos em ordem decrescente de prioridade, que deve ser observada na busca da melhor maneira de se estimar as emissões de cada fonte.

No capítulo anterior, cada um dos métodos foi abordado com a sua descrição e a aplicabilidade; aqui, a proposta é discutir como foram utilizados no inventário da RMRJ, buscando ressaltar particularidades no seu emprego.

• **Monitoramento Contínuo das Emissões**

Este método não encontrou aplicabilidade em nenhuma das fontes inventariadas.

Com a recente implantação de usinas termelétricas a gás natural no estado, a FEEMA vem exigindo a instalação de sistemas de monitoramento contínuo das emissões geradas, como parte integrante do processo de licenciamento. Este sistema de monitoramento ainda está em expansão e atualmente só existe uma termelétrica que envia os dados do monitoramento *on line* para a FEEMA.

• **Monitoramento de Fontes**

É um método que possui muitas vantagens na caracterização das correntes gasosas, inclusive utilizado no desenvolvimento de fatores de emissão.

No entanto, para utilização ampla no inventário da RMRJ, se tornaria inviável sob o ponto de vista temporal e econômico.

A utilização deste método ficou restrita às empresas vinculadas ao Programa de Auto Controle de Emissões – PROCON-AR, que informam regularmente à FEEMA, através de relatórios específicos, os resultados das amostragens de chaminé.

A FEEMA ainda está em fase de expansão deste programa que conta com aproximadamente 35 empresas vinculadas na região metropolitana.

Assim, os dados referentes às amostragens realizadas no segundo semestre de 2001 foram utilizados no inventário, com as devidas conversões de unidades.

Os relatórios enviados ao PROCON-AR não encerravam todos os poluentes que fazem parte deste inventário. A defasagem era, então, preenchida com a utilização de outros métodos na estimativa das emissões.

- **Balanco de Massa**

Não teve um emprego significativo em termos de cálculo de taxa de emissão de poluentes devido à necessidade de obtenção de dados para cada corrente do processo industrial, o que demandaria um encargo substancial para a empresa na compilação destas informações e um trabalho enfadonho para se calcular as emissões finais.

Sua aplicação no presente inventário ganhou, portanto, importância nos cálculos das vazões de gases das fontes pontuais, onde dados medidos não estavam disponíveis.

Com os valores do consumo de combustíveis calculavam-se os valores do volume normal de gases gerado nos processos de combustão, considerando-se 25% de excesso de oxigênio na queima.

Os cálculos eram realizados num programa de cálculo estequiométrico chamado “Grecco”, onde se escolhia o tipo de combustível e a percentagem de oxigênio para a queima, além de outros parâmetros como temperatura e pressão.

Os resultados obtidos expressam o volume de gases em condições normais de temperatura e pressão gerados por quilograma de combustível utilizado.

A vazão de gases era então calculada pelo produto do fator gerado e a vazão mássica de combustível empregado.

- **Fatores de Emissão**

Após a prioridade dos dados de amostragem de chaminés, a estimativa das taxas de emissão dos poluentes ficou por conta da ampla utilização dos fatores de emissão.

Apesar de todas as discussões criteriosas sobre a efetiva representação das emissões reais, e considerando as limitações impostas pelos métodos teoricamente mais eficientes, sejam elas econômicas ou temporais, os fatores de emissão são freqüentemente a melhor

maneira ou o melhor método disponível para a estimativa das emissões, segundo o Grupo de Inventários e Fatores de Emissão da EPA (EPA, 1999).

Utilizou-se, portanto, os fatores de emissão listados no *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (AP-42), que expressam as emissões médias de uma fonte pontual ou difusa baseados principalmente em dados gerados em nível nacional.

A metodologia EPA é cautelosa no sentido de utilização dos fatores de emissão originados de dados nacionais, e sugere a utilização destes apenas quando não existirem outros disponíveis e que retratem a realidade de uma região específica.

Segundo o documento *A Beginner's Guide for Point and Area Sources* (EPA, 1999) as emissões calculadas usando-se fatores de emissões nacionais podem variar consideravelmente dos valores reais para uma fonte ou dentro de uma área específica.

A realidade brasileira, no entanto, no que diz respeito à geração e estabelecimento legal de um cadastro nacional de fatores de emissão, é ainda extremamente defasada inexistindo, portanto, a possibilidade de utilização de fatores brasileiros em iniciativas desta natureza.

O caso do Rio de Janeiro segue a mesma tendência nacional, a inexistência de fatores de emissão que retratem a realidade tecnológica da região em ampla escala. Os esforços neste sentido estão concentrados, ainda, de maneira rarefeita nos centros de pesquisas de algumas universidades nacionais, existindo alguns fatores desenvolvidos pelo Órgão Ambiental local para as atividades de queima de bagaço de cana.

A escolha dos fatores de emissão foi uma tarefa que demandou um grande esforço no início do processo de inventário. Não bastasse o conhecimento do processo industrial e das fontes pontuais e difusas nacionais, era necessário o conhecimento do processo e das fontes americanas de tal forma que se pudessem fazer as devidas considerações na adequação tecnológica e, com isso, obter o melhor fator de emissão disponível.

Este processo de adequação tecnológica foi muito comum nas fontes difusas tipo área onde os fatores de emissão retratam todo o processo industrial como se fosse um monobloco gerador de emissões atmosféricas, como é o caso das indústrias de produção de asfalto, as indústrias de torrefação e moagem de café e as de fabricação de tintas e vernizes, entre outras.

Quando não havia adequação tecnológica satisfatória, ou seja, quando os processos industriais eram muito diferentes, tratava-se cada fonte da indústria individualmente, procurando o fator que melhor representasse aquela unidade. Com isso, algumas fontes

de emissões fugitivas, inerentes no processo, eram desprezadas o que representava uma defasagem no inventário.

As fontes pontuais cuja grande maioria se enquadrava na categoria de fontes de combustão necessitavam de cuidados especiais na escolha dos fatores que correspondessem melhor ao tipo de combustível regionalmente utilizado, fez-se, portanto, um ajuste de similaridade de combustíveis nacionais e americanos, considerando os óleos combustíveis utilizados na RMRJ similares aos óleos residuais nº 5, citados no AP-42.

Alguns fatores de emissão de fontes pontuais que utilizam óleo e/ou gás natural necessitam do teor de enxofre para a estimativa.

Este parâmetro era solicitado à empresa nos questionários enviados e, caso não houvesse resposta, utilizava o teor previsto pela legislação conforme portarias ANP 80/99 ou ANP 032/97.

As taxas de emissão dos poluentes foram então calculadas utilizando-se a equação geral 5.1, conforme especificado na metodologia EIIP.

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad (5.1)$$

Onde:

E = taxa de emissão do poluente;

A = taxa de atividade industrial ou consumo de combustível;

EF = fator de emissão;

ER = eficiência global de redução das emissões, %, em função da utilização de equipamento de captura e sistema de controle.

As tabelas do AP-42 contemplam fatores de emissão desenvolvidos para atividades com e sem controle. Apenas é necessário conhecer o tipo de controle utilizado e fazer a escolha conveniente, no caso de haver um tipo de controle não listado, optou-se por um tipo que produzisse a mesma eficiência de redução.

A seleção dos fatores de emissão também foi norteadada pela observação constante dos índices de confiabilidade, conforme descrito no capítulo 4, e sempre que possível optava-se por aquele fator de maior confiabilidade, maior índice.

Nos casos em que o único fator de emissão disponível possuísse índice de confiabilidade baixo (D ou E), utilizava-se o fator e recorria-se à justificativa dada pela EPA em seu manual de compilação de fatores de emissão.

“Os índices de confiabilidade devem ser vistos como indicadores de precisão e exatidão possuindo um caráter subjetivo que reflete o julgamento profissional dos autores, não implicando em erros estatísticos ou intervalos de confiança para cada fator de emissão” (EPA, 1999).

- **Análise de Combustível**

Este método não foi utilizado na estimativa das emissões, sendo de aplicação principal nos processos de combustão onde os fatores de emissão foram usados preferencialmente em função da praticidade.

- **Modelos de Estimativa de Emissões**

Os processos que envolvem fontes difusas, tais como estocagem e transferência de solventes orgânicos, operações de empilhamento de materiais granulados (pilhas) etc., são tratados com especial atenção pela EIIP por se tratar de emissões com comportamento singular, que encontram, nos métodos anteriormente descritos, grande limitação de aplicação.

Sendo assim, foram desenvolvidos modelos de estimativas de emissões baseados em medidas e equações empíricas capazes de descrever este comportamento singular das referidas emissões.

Como a manipulação destas equações requer um número razoável de interações e parâmetros para a sua solução o que incorreria certamente em erros de cálculo, o grupo responsável pelo programa de inventários da EPA resolveu dispor tais modelos em softwares aplicativos e de simples utilização.

Dentre os softwares utilizados destaca-se o *TANKS*, utilizado para a estimativa das emissões de compostos orgânicos voláteis originados da estocagem em tanques de teto fixo ou flutuante.

- **Julgamento do Engenharia**

A utilização deste método no inventário da RMRJ ficou restrita à estimativa dos valores de vazão e temperatura de saída dos gases em fontes pontuais, nos casos onde não foi possível o uso de cálculo estequiométrico para a obtenção do dado.

Em geral, os valores eram estimados com base em processos industriais similares, observando-se a taxa de produção da unidade.

- **Documentação e Alimentação do Banco de Dados**

As informações obtidas no levantamento inicial de análise dos processos de licenciamento e da atualização por meio dos questionários foram compiladas para cada empreendimento originando um arquivo de caracterização da empresa.

Nestes arquivos estão descritas as principais fontes poluidoras com a caracterização de parâmetros físicos, tais como: altura da chaminé, diâmetro, vazão de saída dos gases, temperatura, localização em coordenadas UTM, sistema de controle de emissões quando houver etc. Também estão registradas as taxas das emissões dos poluentes atmosféricos calculados.

No processo de documentação, procurou-se seguir a recomendação da metodologia utilizada e, para tanto, referenciou cada informação disponível com atenção especial às taxas calculadas informando o fator de emissão utilizado, onde encontrá-lo nos registros do AP-42, e as possíveis considerações realizadas.

Todo este volume de informação foi inserido no banco de dados do software ATMOS para terem utilidades na geração de cenários onde estão plotadas cada uma das empresas inventariadas, e serem utilizadas futuramente pelo órgão ambiental em seus estudos de modelo de dispersão, ou em outras finalidades possíveis.

- **Sistema de Qualidade do Inventário**

A aplicação do sistema de qualidade do inventário não foi tão complexa como a recomendada pela metodologia americana, mais contou com os dois componentes principais: o controle de qualidade e a garantia de qualidade.

O controle de qualidade foi realizado durante todo desenvolvimento do trabalho, especificamente nas etapas de coleta das informações e realização dos cálculos das emissões, pela equipe diretamente envolvida na realização do inventário.

Os dados primários e os dados calculados foram avaliados segundo o método *reality check*, aplicado ao longo de todo processo, fazendo-se as clássicas argumentações : “Este dado é razoável?” ou “Este número faz sentido?”

A resposta tinha como base dados ou estimativas de emissões, em geral, oriundas de medições diretas, ou julgamento de especialistas na área, o que diminuía significativamente o caráter subjetivo do método.

Realizava-se a revisão dos cálculos, verificando os fatores de emissão utilizados, as considerações realizadas, buscando encontrar falhas ou lacunas em toda a documentação do inventário. As deficiências eram, então, corrigidas no momento da verificação quando possível e as pendências registradas em relatório próprio para posterior solução.

Além desta revisão, realizava uma verificação mais ampla onde se fazia o balanço estatístico do número de empresas com pendências, das empresas substituídas no cronograma, das empresas com estimativas consolidadas, enfim, traçava-se assim um panorama do andamento do trabalho que balizava as ações de planejamento da equipe de coordenação.

A etapa de garantia de qualidade foi realizada paralelamente ao controle de qualidade com o objetivo de realização de revisão e de procedimentos de auditoria sistemáticos para a avaliação da efetividade do programa de controle de qualidade implantado, a exatidão, a precisão e a representatividade do inventário.

Este procedimento foi de grande importância, uma vez que a avaliação externa serviu como orientadora da equipe que efetivamente executou o inventário, apontando as lacunas ainda existentes, e trocando experiências valiosas para se alcançar o nível de efetividade necessário ao bom desempenho das atividades.

O item a seguir se destina à apresentação dos resultados advindos da aplicação da metodologia aqui discutida.

5.5 Apresentação dos Resultados

O inventário de fontes emissoras englobou as empresas em operação com potencial poluidor atmosférico mais significativo nos municípios pertencentes à Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Ao todo foram identificadas e inventariadas 1641 fontes fixas ou estacionárias o que corresponde à consolidação do inventário de 425 empresas, sendo 85% do número de atividades previstas inicialmente (500). A tabela 5.8 mostra a distribuição destas empresas pelos municípios da RMRJ.

Tabela 5.8: Distribuição das Empresas Inventariadas por Município da RMRJ

Município	Quantidade
Guapimirim	8
Duque de Caxias	73
Guapimirim	2
Itaboraí	46
Itaguaí	2
Japerí	1
Magé	9
Maricá	2
Mesquita	1
Nilópolis	1
Niterói	10
Nova Iguaçu	22
Paracambi	1
Queimados	4
Rio Janeiro	203
São Gonçalo	29
São João de Meriti	5
Seropédica	3
Tanguá	3

Fonte: Elaboração própria a partir de FEEMA (2004).

Durante o processo de análise e coleta de dados verificou-se que muitas empresas que constavam da lista inicial das 500 prioritárias foram excluídas por diversos motivos (desativação, mudança de endereço, ausência de potencial poluidor para a atmosfera, inexistência de documentação suficiente, etc.), totalizando 219 empresas nesta situação cuja distribuição por municípios da RMRJ pode ser vista na tabela 5.8.

Tabela 5.8: Quantidade de Empresas Excluídas por Municípios da RMRJ

Município	Quantidade
Itaboraí	7
Duque de Caxias	29
Rio de Janeiro	128
Nilópolis	3
São Gonçalo	8
Seropédica	2
Tanguá	1
Nova Iguaçu	12
Itaguaí	2
Niterói	11
Paracambi	2
Queimados	3
Macaé	2
Magé	5
Mangaratiba	1
Guapimirim	2
Belford Roxo	1
Total	219

Fonte: Elaboração própria a partir de FEEMA (2004).

Na medida que as empresas foram sendo eliminadas, outras que constavam da lista auxiliar eram inseridas no lugar das 219 excluídas. Houve a inserção de 144 empresas

não existentes na lista inicial das 500, foram então analisados 644 processos de licenciamento.

Além do descarte das fontes que apresentaram baixo potencial poluidor, não foram consideradas as fontes naturais bem como aquelas que mesmo apresentando potencial poluidor significativo não foi possível à obtenção de informações suficientes para a realização do inventário no prazo previsto.

As emissões das diversas fontes inventariadas foram quantificadas em termos de taxa de emissão expressa em miligrama de poluente emitido por segundo (mg/s), enquanto que o total emitido é apresentado em tonelada de poluente emitido por ano (t/ano), conforme convenção literária. A tabela 5.9 apresenta um resumo das emissões obtidas no estudo para as fontes fixas.

Tabela 5.9: Resumo dos Resultados Obtidos na Estimativa das Emissões

Tipo de Fonte	Taxa de Emissão de Poluentes (t/ano)*1000				
	SO ₂	NO _x	CO	HC	MP ₁₀
Total Geral	55,76	30,27	6,38	25,85	10,58

SO₂ – Dióxido de Enxofre

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

CO - Monóxido de Carbono

HC – Hidrocarbonetos

MP₁₀ - Material Particulado Inalável

Fonte: FEEMA (2004).

Segundo FEEMA (2004), as fontes fixas inventariadas foram divididas, quanto à forma de sua emissão, em dois grupos:

- Fontes emissoras pontuais: são as chaminés de fontes de combustão, chaminés de caldeiras, fornos, secadores e, etc;

- Fontes emissoras tridimensionais: são as fontes difusas que inserem as fontes áreas¹¹ e as fontes volumétricas¹².

A contribuição desta desagregação em relação ao total emitido pode ser observada pela tabela 5.10.

Tabela 5.10: Emissões por Tipo de Fonte Fixa

Tipo de Fonte	Taxa de Emissão de Poluentes (t/ano)*1000				
	SO ₂	NO _x	CO	HC	MP ₁₀
Fontes Pontuais	51,16	29,58	6,22	4,05	10,27
Fontes Tridimensionais	4,60	0,68	0,16	21,79	0,31
Total Geral	55,76	30,27	6,38	25,85	10,58

Fonte: Elaboração própria a partir de FEEMA (2004).

De acordo com FEEMA (2004), foram inventariadas fontes fixas de diversas empresas, com diferentes processos produtivos. A seguir estão relacionados os principais tipos de indústria que fizeram parte do inventário:

- Alimentícia;
- Fábrica de Asfalto;
- Cerâmica;
- Cimenteira;
- Farmacêutica;
- Fumo;
- Geração de Energia;
- Lavanderia;
- Metalúrgica;
- Papel;
- Química;

¹¹ Fontes Áreas: representam no inventário as emissões inerentes ao processo industrial como, por exemplo, a fabricação de tintas e vernizes (FEEMA, 2004).

¹² Fontes Volumétricas: representam as emissões dos tanques de estocagem de líquidos orgânicos e as emissões de operações de transferência destes líquidos, entre outros (FEEMA, 2004).

- Petroquímica;
- Refino de Petróleo;
- Têxtil;
- Vidro;
- Naval.

A tabela 5.11 apresenta um resumo dos resultados obtidos para as tipologias industriais incluídas no inventário.

Tabela 5.11: Resultados das Taxas de Emissão por Tipologia

Tipologia	Taxa de Emissão de Poluentes (t/ano)*1000				
	SO ₂	NO _x	CO	HC	MP ₁₀
Química	0,87	0,98	0,29	2,19	0,50
Petroquímica	0,39	6,06	1,07	4,74	0,24
Refino de Petróleo	27,77	5,43	1,04	18,45	1,88
Metalúrgica	0,29	0,60	0,18	0,03	0,64
Asfalto	0,22	0,19	0,61	0,18	0,12
Cerâmica	2,66	0,60	2,14	0,03	1,27
Lavanderia	0,15	0,07	0,01	0,00	0,01
Têxtil	0,42	0,17	0,08	0,01	0,04
Alimentícia	1,32	0,78	0,25	0,04	0,17
Farmacêutica	0,34	0,24	0,09	0,01	0,06
Cimenteira	0,18	0,18	0,09	0,01	0,07
Papel	0,29	0,10	0,01	0,00	0,02
Fumo	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Vidro	0,34	0,67	0,04	0,02	0,13
Naval	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
Geração de Energia	20,37	14,02	0,47	0,12	5,40
Diversos	0,13	0,17	0,02	0,01	0,02
Total Geral	55,76	30,27	6,38	25,85	10,58

Fonte: FEEMA (2004).

* Diversos corresponde às seguintes atividades: Tratamento de resíduos, beneficiamento de areia, processos de incineração, indústrias eletromecânicas, recauchutagem de pneus.

Os resultados das diversas fontes inventariadas segundo a distribuição espacial por sub-regiões ou Bacias Aéreas são mostrados na tabela 5.12.

Tabela 5.12: Resultados das Taxas de Emissão por Bacias Aéreas

Taxa de Emissão (t/ano)*1000	Poluentes				
	SO ₂	NO _x	CO	HC	MP ₁₀
Bacia I	21,48	14,55	0,92	0,31	5,90
Bacia II	0,01	0,14	0,13	0,74	0,36
Bacia III	29,41	13,30	2,80	24,44	2,50
Bacia IV	3,80	1,28	2,36	0,13	1,39

Fonte: FEEMA (2004).

Como em qualquer procedimento de inventário de emissões atmosféricas, os resultados apresentados estabelecem um banco de dados que precisa ser analisado sob diferentes pontos de vista de modo a atender às necessidades de todos os atores envolvidos na tarefa de gerenciar a poluição atmosférica de centros urbanos como a da RMRJ.

O capítulo seguinte introduz uma análise dos resultados apresentados sob o ponto de vista da participação das tipologias envolvidas e da distribuição geográfica das fontes, em seguida, propõe, de forma simples, possibilidades no uso dos dados gerados que podem ser utilizados, com tratamentos que exijam maior grau de elaboração, para nortear as ações bilaterais (órgão ambiental e atividades industriais) que almejam melhorar a qualidade do ambiente atmosférico da RMRJ.

Capítulo 6- Avaliação dos Resultados e Possibilidades de Utilização na Gestão da Poluição do Ar da RMRJ

As informações geradas pela aplicação da ferramenta inventário de emissões atmosféricas, numa zona industrial como a RMRJ, estabelecem um diagnóstico da situação atmosférica em que se encontra a área em estudo, constituindo, assim, a linha de base essencial para qualquer programa de gerenciamento da poluição atmosférica que venha a ser implantado.

O banco de dados gerado fornece a possibilidade de aprofundamento do conhecimento das principais tipologias instaladas com a caracterização qualitativa e quantitativa de suas emissões atmosféricas. Permite a atribuição de responsabilidades nas emissões liberadas quando se analisa a contribuição de cada tipologia e o conhecimento da influência exercida nas unidades de planejamento ambiental na gestão da poluição atmosférica – bacias aéreas.

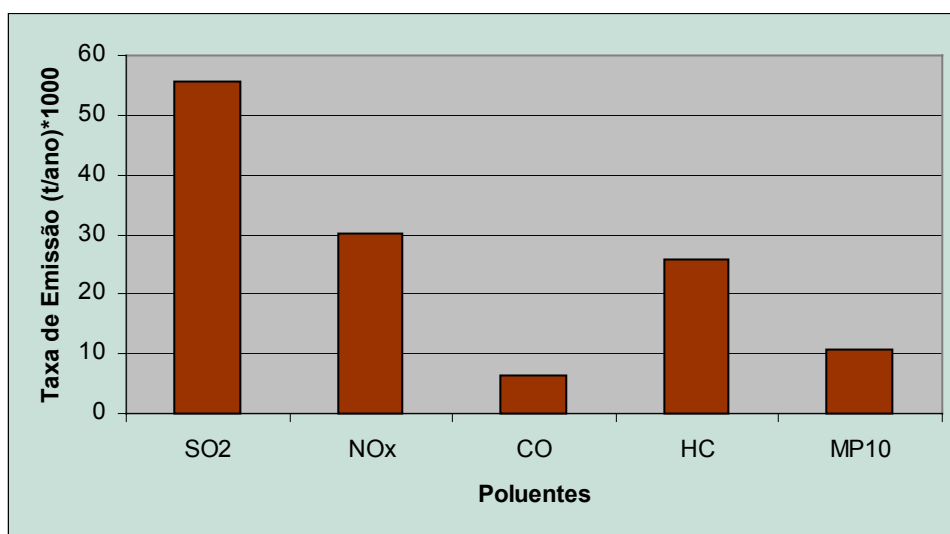
Neste capítulo, os resultados são analisados a fim de se obter um conhecimento mais aprofundado sobre as características das principais emissões atmosféricas geradas pelas tipologias industriais contempladas, além do conhecimento da contribuição relativa nas emissões, sob a ótica da disposição geográfica ocupada por estas atividades, com vistas a depreender relações que transcendam a informação singular gerada pelas taxas de emissão.

Num segundo momento, serão abordadas algumas possibilidades de utilização dos dados gerados com a finalidade de exemplificar aplicações práticas que poderão nortear as ações dos vários atores envolvidos na gestão do ambiente atmosférico da RMRJ.

6.1 Avaliação dos Resultados

De acordo com a tabela 5.9, as emissões totais de fontes fixas revelam que o principal poluente emitido é o dióxido de enxofre (SO_2), cuja participação supera os 40% do total de poluentes, em seguida o poluente que se destaca com quase 22% de representação é o óxido de nitrogênio (NO_x). A figura 6.1 ilustra a contribuição de cada poluente nas emissões totais.

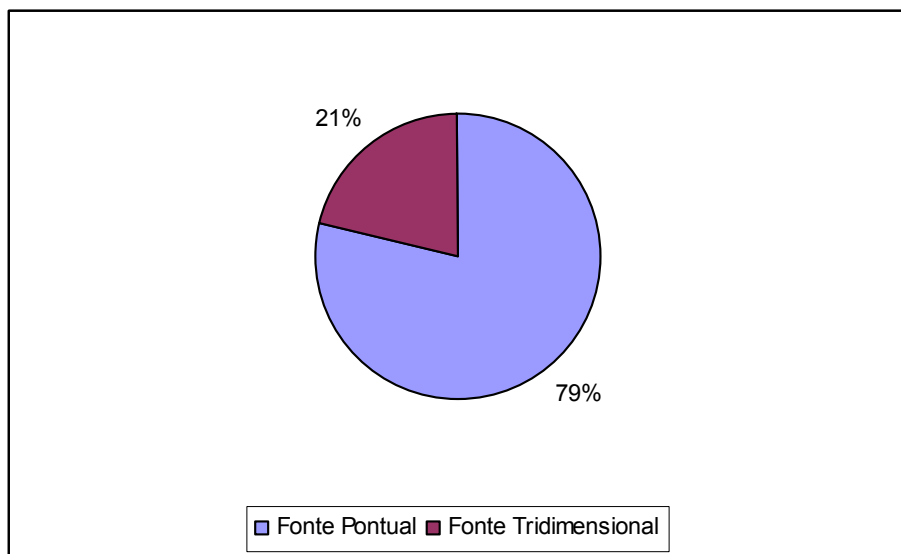
Figura 6.1: Contribuição dos Poluentes nas Emissões Totais



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

A desagregação por tipos de fontes, segundo a forma de emissão, mostra, de acordo com a tabela 5.10, que as fontes pontuais são as principais contribuintes, com participação da ordem de 79%, conforme ilustrado na figura 6.2 a seguir.

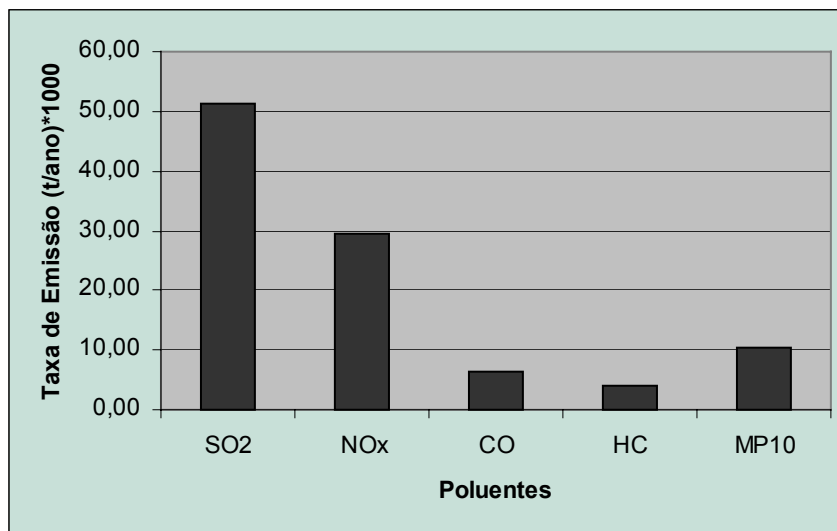
Figura 6.2: Participação nas Emissões por Tipo de Fontes Fixa



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

Para as fontes pontuais, observa-se através da figura 6.3, que as taxas de emissão de dióxido de enxofre (SO_2) e de óxido de nitrogênio (NO_x) assumem valor de destaque consolidando a tendência das emissões totais mostradas anteriormente.

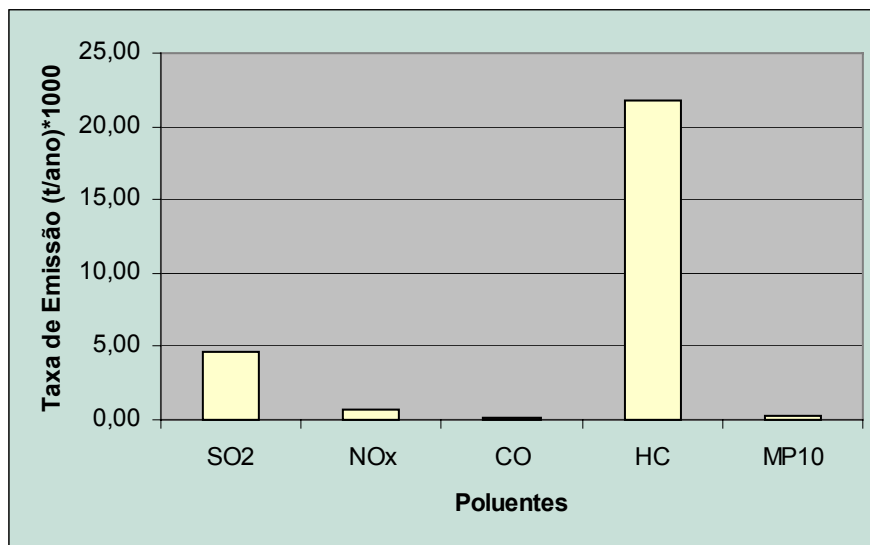
Figura 6.3: Emissões das Fontes Pontuais



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

Com relação às fontes tridimensionais, a maior contribuição, quase 80%, ocorre por parte das emissões de hidrocarbonetos (figura 6.4), derivadas principalmente dos processos de estocagem e transferência de líquidos orgânicos e das emissões inerentes a processos industriais como: fabricação de tintas e vernizes. A alta taxa de SO_2 é atribuída em grande parte às emissões dos *flares* das refinarias incluídas no inventário.

Figura 6.4: Emissões das Fontes Tridimensionais

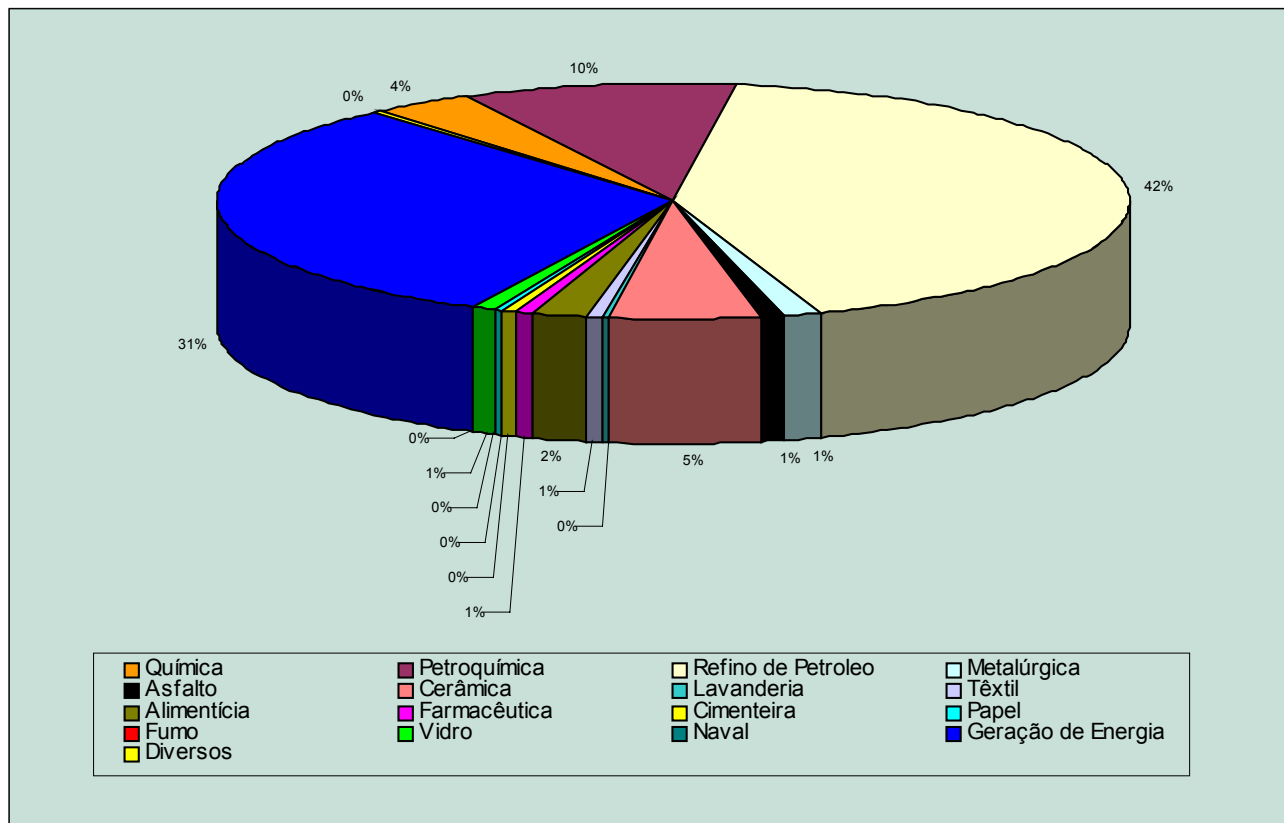


Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

6.1.1 Avaliação: Distribuição Setorial

A desagregação por tipologias mostra, de acordo com a figura 6.5, que a principal contribuição é das atividades de refino de petróleo, responsáveis por 42 % das emissões totais. Apesar de estarem em número reduzido na RMRJ possuem uma carga de poluentes relativamente alta em função das inúmeras operações unitárias envolvidas no processo de refino de petróleo.

Figura 6.5: Participação nas Emissões Totais por Tipologia



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

Ressalta-se também a contribuição das atividades geradoras de energia com 31% do total de poluentes emitidos, sendo suas emissões atribuídas ao consumo de combustíveis fósseis para a geração de energia, principalmente carvão e óleo combustível.

As contribuições das atividades petroquímica (10%), cerâmica (5%), química (4%) e alimentícia (2%) ainda merecem destaque, pois somadas às contribuições das duas anteriormente citadas arrematam 94% do total das emissões. As seguintes atividades: metalúrgica, asfalto, têxtil, farmacêutica e vidro, contribuem com cerca de 1% (individualmente), enquanto que as demais: lavanderia, cimenteira, papel, fumo, naval e diversos, apontam contribuição individual menor que 1% do total.

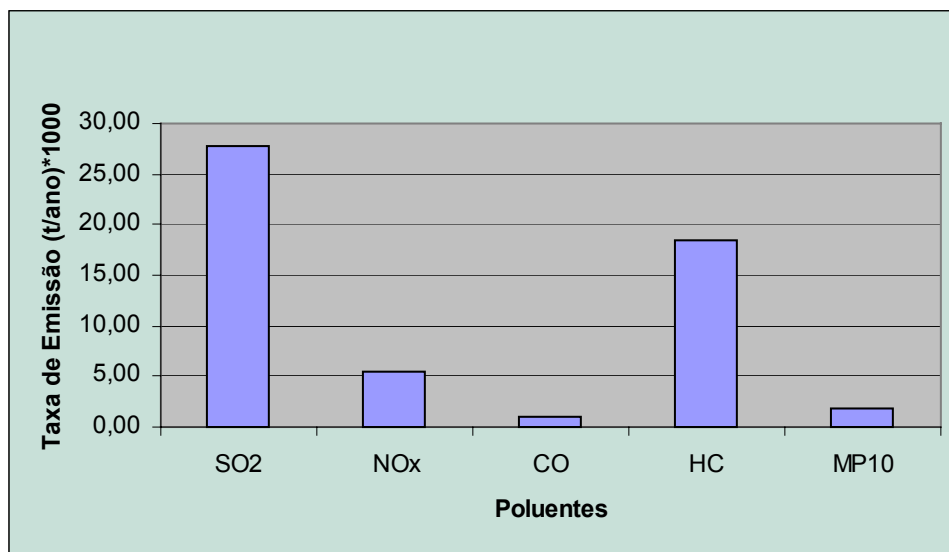
De acordo com o *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (EPA, 1995) as refinarias apresentam como principais fontes emissoras de poluentes as seguintes etapas do processo:

- Destilação a vácuo: estando às emissões de hidrocarbonetos não condensáveis associadas com os ejetores de vapor e com as bombas a vácuo e em menor escala as emissões dos produtos de combustão dos aquecedores das colunas;
- Craqueamento catalítico: ocorrem emissões de gases do produto da combustão e de gases (hidrocarbonetos, dióxido de enxofre, amônia, aldeídos, óxidos de nitrogênio, cianetos, monóxido de carbono e material particulado) da regeneração do catalisador;
- Craqueamento térmico: as emissões incluem material particulado das operações de craqueamento e gases de combustão dos processos de aquecimento e emissões fugitivas bastante significativas;
- Central de utilidades: essencialmente gases originados dos processos de combustão;
- Unidade de recuperação de enxofre: as principais emissões provêm da incineração das corrente que contém ainda porções de enxofre não removido formando dióxido de enxofre;
- Sistema de alívio: em sistemas sem controle ocorre geralmente a liberação quantidades significativas de hidrocarbonetos;
- Aquecedores: as emissões dependem do tipo de combustível utilizado nas câmaras de combustão: gás, óleo destilado ou óleo residual;
- Compressores: emitem também gases de combustão: hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, amônia, etc;

- Abrandamento ou Adoçamento: existem emissões de hidrocarbonetos originários do processo de oxidação para conversão das mercaptans em alquil dissulfito;
- Emissões fugitivas: ocorrem essencialmente emissões de hidrocarbonetos da estocagem e transferência de líquidos orgânicos voláteis, de válvulas, flanges, selos de bombas e compressores etc.

A figura 6.6 mostra as emissões desta tipologia, com destaque para o poluente SO_2 , contribuição relativa de quase 50% do total deste poluente, originado das operações de combustão e do *flares*, como dito anteriormente, e para as emissões de hidrocarbonetos, com 71% do total deste poluente, originadas principalmente nos processos de estocagem e transferência de líquidos orgânicos voláteis.

Figura 6.6: Contribuição das Atividades de Refino de Petróleo



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

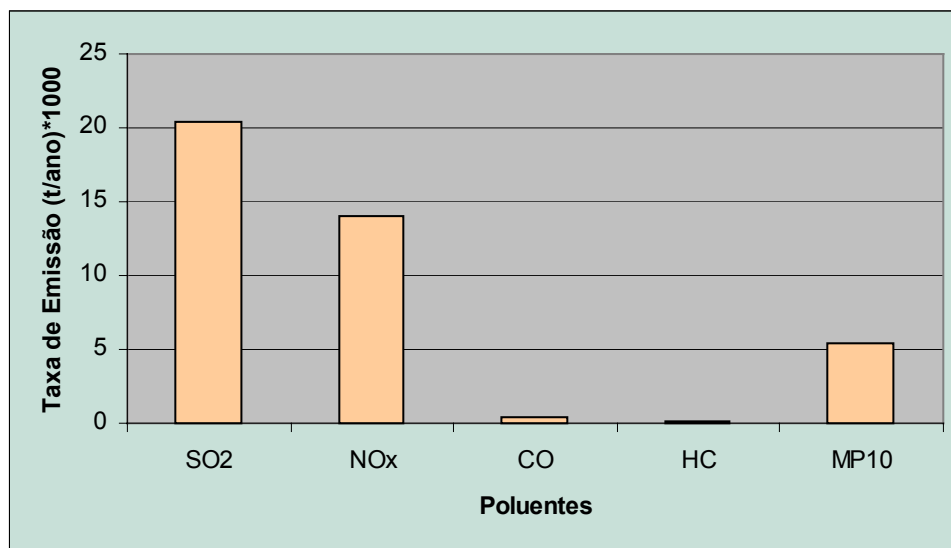
A geração de energia compreende os processos de combustão externa de óleo residual e de gás natural, com o primeiro em maior escala. As emissões de óleo residual dependem da composição do óleo e de parâmetros característicos da operação da queima, sendo o dióxido de enxofre (SO_2) e o óxido de nitrogênio (NO_x) os principais poluentes lançados na atmosfera.

As emissões de óxidos de enxofre dependem diretamente do teor deste elemento no combustível que sofre reações de oxidação na câmara de combustão formando principalmente dióxido de enxofre. Em média mais de 95% do enxofre presente no óleo é convertido a dióxido de enxofre, 1 a 5% se oxida a trióxido de enxofre (SO_3) e 1 a 3% é emitida como sulfato particulado, sendo que o trióxido de enxofre reage com vapor d'água para formar ácido sulfúrico (EPA, 1995).

As emissões devidas à combustão do gás natural originam óxidos de nitrogênio (NO_x), formados principalmente a partir da dissociação térmica e posterior reação de moléculas do nitrogênio e oxigênio atmosféricos. Outro poluente de importância é o monóxido de carbono cuja taxa de emissão depende da eficiência da queima.

A figura 6.7 apresenta as emissões da operação de geração de energia para a RMRJ. Observa-se o comportamento típico de processos de queima de óleo residual e de gás natural, com taxas significativas para o dióxido de enxofre (36,5% do total deste poluente) e óxidos de nitrogênio, com 46% do total deste poluente emitido.

Figura 6.7: Contribuição das Atividades de Geração de Energia



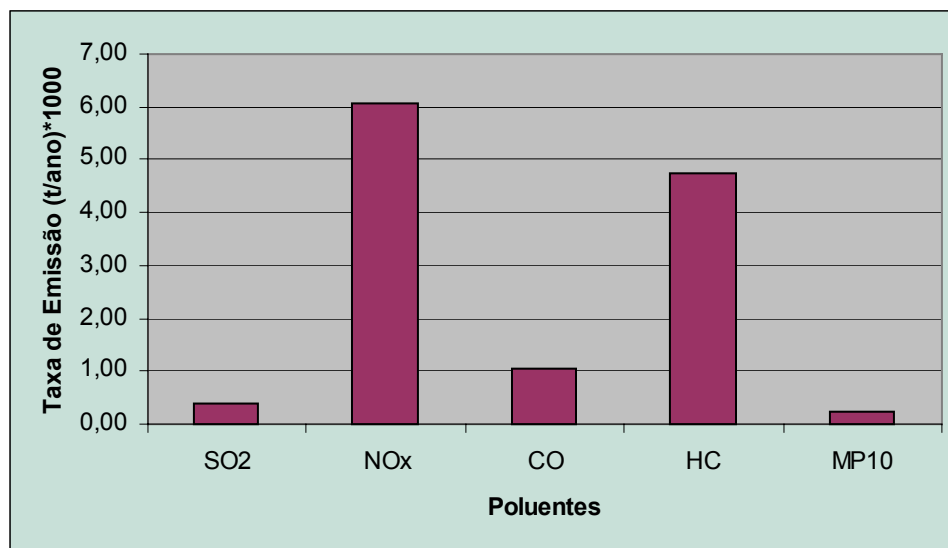
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

As atividades das indústrias petroquímicas, situadas na RMRJ, baseiam-se na conversão dos derivados do refino do petróleo em produtos que serão utilizados posteriormente como matérias-primas na indústria de transformação, ou ainda, em atividades de estocagem destes derivados para posterior revenda.

Tanto nas operações de reações químicas de conversão quanto nas operações de estocagem de compostos orgânicos voláteis ocorre a necessidade de fontes de calor para a manutenção das condições reacionais ou da temperatura ótima de escoamento de fluidos.

O perfil das emissões atmosféricas para esta tipologia, conforme disposto na figura 6.8, condiz com o que se observa na prática de combustão realizada, com alto índice de fontes de combustão a gás natural – ressaltado com o alto índice do poluente NOx. O segundo principal poluente HC, típico em combustão a gás natural, encontra incremento por conta das atividades de estocagem e transferência de derivados de petróleo.

Figura 6.8: Contribuição das Atividades Petroquímicas



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

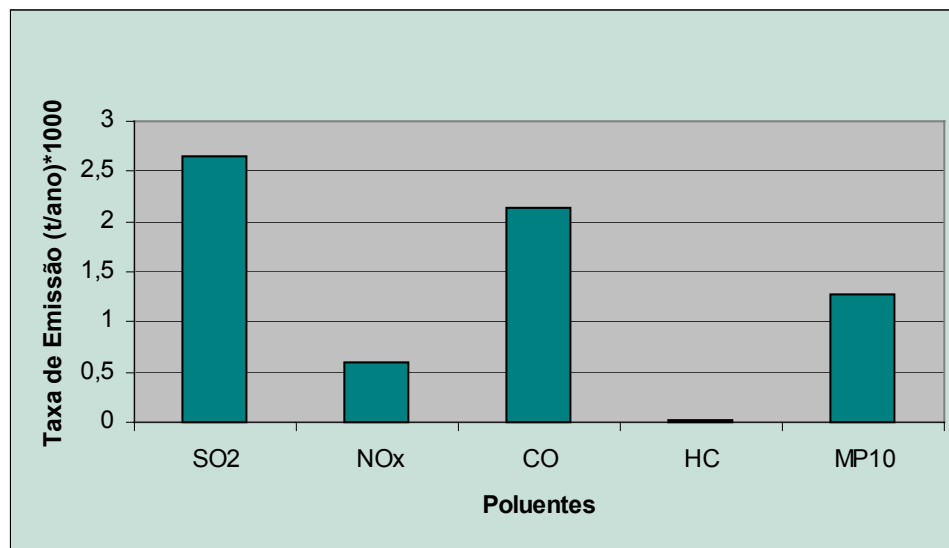
As atividades classificadas como cerâmicas compreendem a produção de tijolos e artefatos de argila onde passam por um processo de cozimento em fornos contínuos ou semicontínuos que utilizam como combustível óleo residual e madeira em sua grande maioria. As principais emissões da queima do óleo residual, como discutido acima, são os óxidos de enxofre e de nitrogênio.

Na combustão da madeira, as principais emissões segundo a EPA (1995) são as de material particulado, embora outros poluentes como o monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (VOC) e óxidos de nitrogênio possam ser emitidos em quantidades significativas que dependerão da qualidade da madeira queimada e das condições de operação do processo.

A cerâmicas existentes na RMRJ estão praticamente concentradas na Bacia Aérea IV, no município de Itaboraí, formando uma área com carga poluidora considerável, se considerarmos a ação sinérgica das emissões.

O comportamento típico deste tipo de atividade conforme traçado acima pode ser avaliado pela figura 6.9.

Figura 6.9: Contribuição das Atividades de Cerâmica



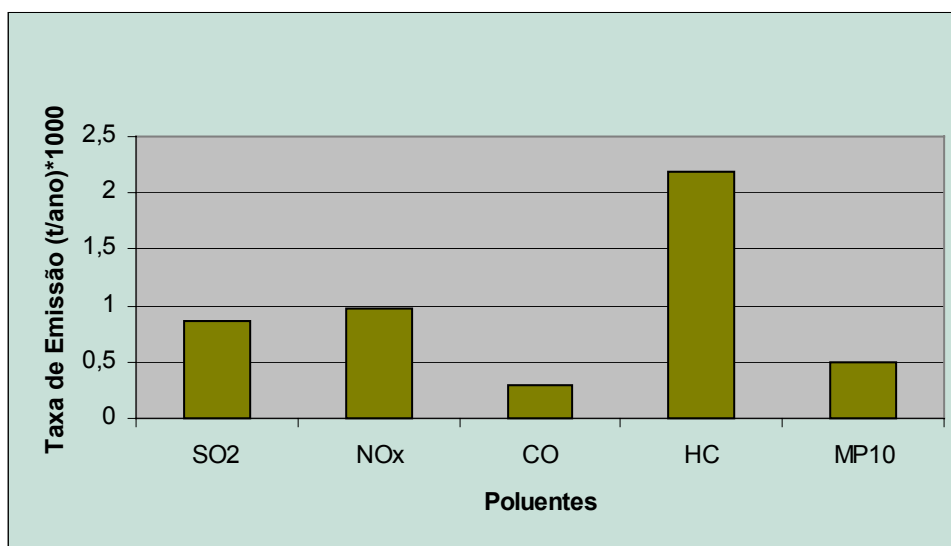
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

Para as indústrias químicas a EPA lista no *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (EPA, 1995) vários processos industriais e os respectivos fatores de emissão, porém nem sempre existem similaridades com o processo local, ou seja, o uso do fator de emissão incorreria em erros grosseiros. Nestes casos opto-se pela quantificação das fontes pontuais, maioria neste tipo de categoria, sendo as principais representantes as chaminés de caldeiras, fornos ou secadores que utilizam gás natural ou óleo combustível na queima.

Com relação às fontes difusas da indústria química foram quantificadas com a utilização de fatores de emissão quando aplicáveis e balanços estequiométricos. Nesta categoria é relevante comentar a participação do processo de fabricação de tintas e vernizes a base de solventes orgânicos com a emissão significativa de hidrocarbonetos.

A figura 6.10 apresenta a contribuição dos poluentes na categoria descrita.

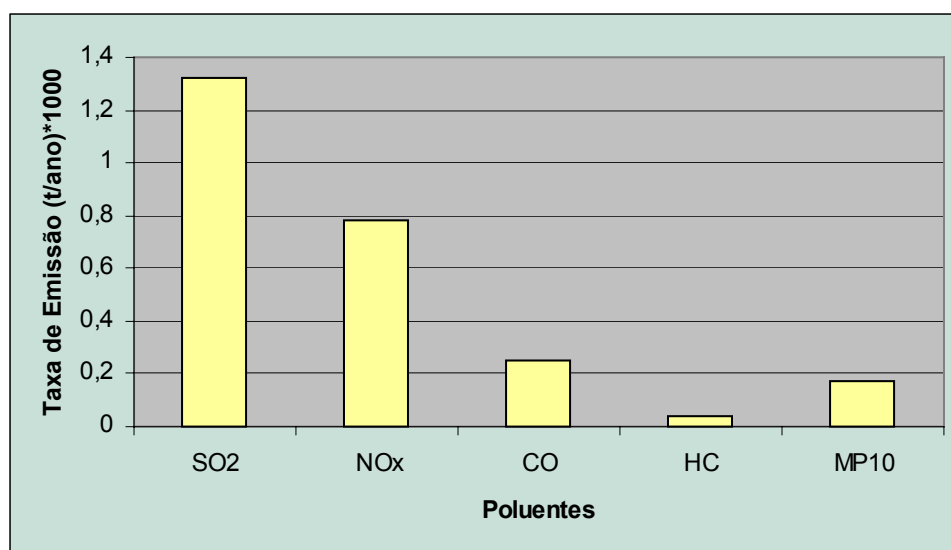
Figura 6.10: Contribuição da Atividade Química



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

Na categoria alimentícia o perfil de emissões representa os processos de combustão que são realizados para fornecimento de calor para as atividades unitárias desenvolvidas. Empregam, portanto, fontes fixas com a utilização de óleo residual (em maior escala) e gás natural como combustível na geração de calor. As emissões são principalmente dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, como mostrado na figura 6.11.

Figura 6.11: Contribuição da Atividade Alimentícia



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

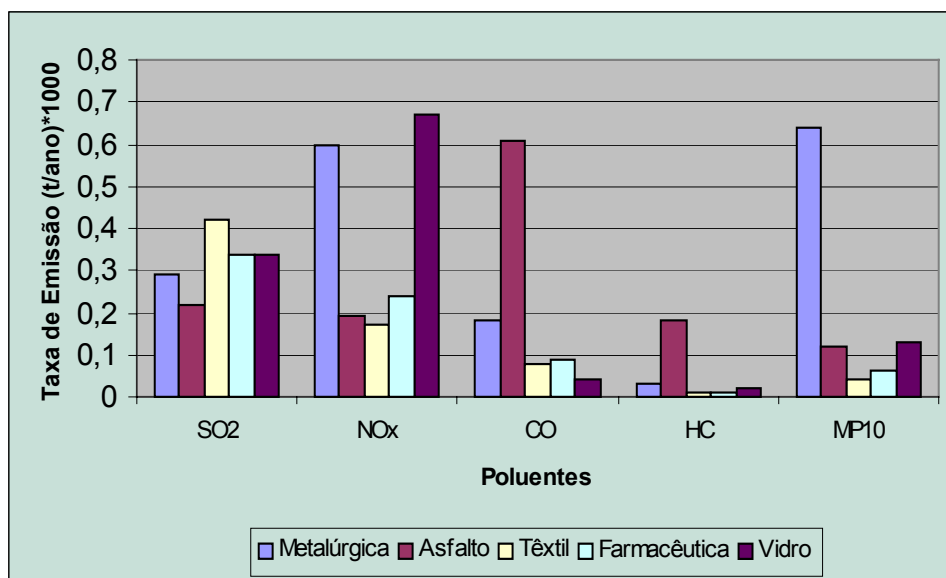
As principais emissões para as indústrias metalúrgicas são mostradas na figura 6.12. Nesta categoria estão incluídas as atividades de produção de alumínio e a fabricação de produtos siderúrgicos e metalúrgicos que geram grandes quantidades de material particulado finamente dividido em seus processos. Ocorre a utilização intensa de gás natural em equipamentos de geração de calor, o que justifica a segunda maior contribuição de óxidos de nitrogênio.

Nas atividades de produção de asfalto a principal fonte de emissão é o forno rotativo que realiza combustão com óleo combustível ou gás natural, sendo o primeiro observado em maior frequência nas plantas inventariadas na RMRJ. A figura 6.12 mostra o perfil de emissões para esta tipologia, com destaque para o poluente CO originada da queima incompleta do processo de combustão.

As demais tipologias mostradas na figura 6.12 ilustram os perfis dos processos de combustão que configuram as principais emissões destas atividades, sendo que nas

categorias têxtil e farmacêutica predominam a combustão de óleos combustíveis e na categoria vidro a combustão a gás natural com incrementos de material particulado inerentes ao processo de fabricação de vidro.

Figura 6.12: Contribuição das Atividades: Metalúrgica, Asfalto, Têxtil, Farmacêutica e Vidro.

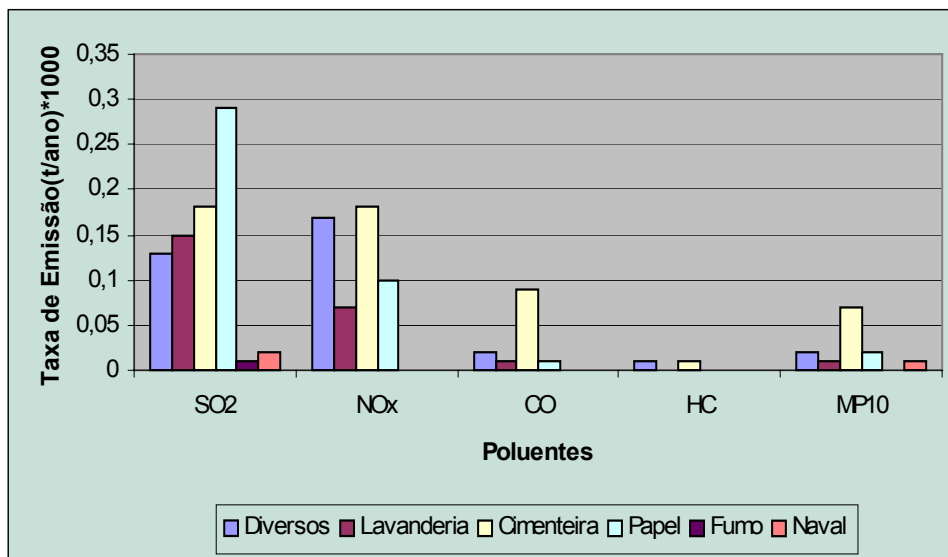


Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

Na figura 6.13 as tipologias lavanderia, papel, naval e fumo apresentam perfis de emissões semelhantes e típicos de processos de combustão onde se emprega óleo combustível, configurando a predominância de poluente SO₂. A categoria diversos também caracteriza processos de combustão, porém com emprego de gás natural como combustível.

Na categoria cimenteira empregou-se fatores de emissão próprios da atividade que consideram processos de combustão além de emissões fugitivas principalmente material particulado, conforme ilustrado na figura 6.13.

Figura 6.13: Contribuição das Atividades: Diversos, Lavanderia, Cimenteira, Papel, Fumo e Naval.

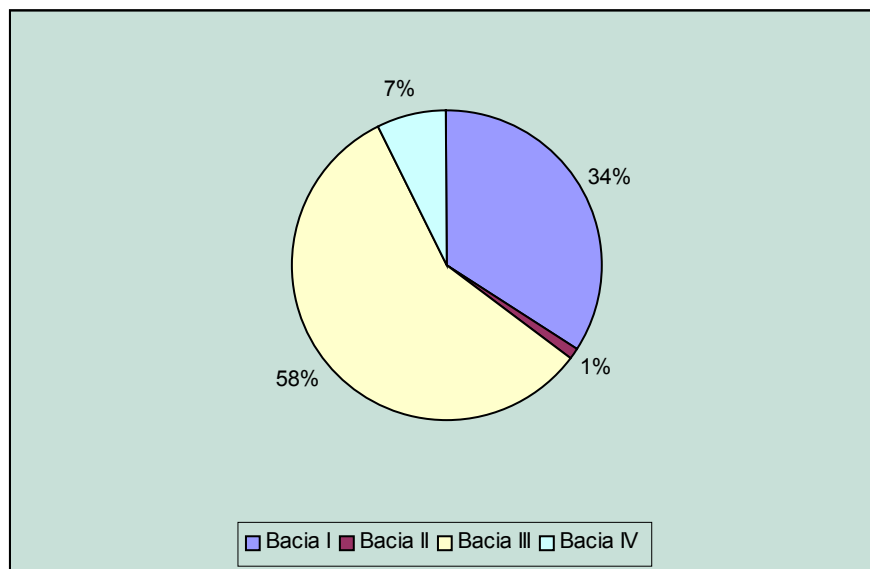


Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

6.1.2 Avaliação: Distribuição Geográfica

A participação das emissões atmosféricas das fontes fixas pelas bacias aéreas, consideradas unidades de planejamento ambiental na gestão da poluição do ar da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, pode ser avaliada através da figura 6.13.

Figura 6.13: Participação das Emissões por Bacias Aéreas



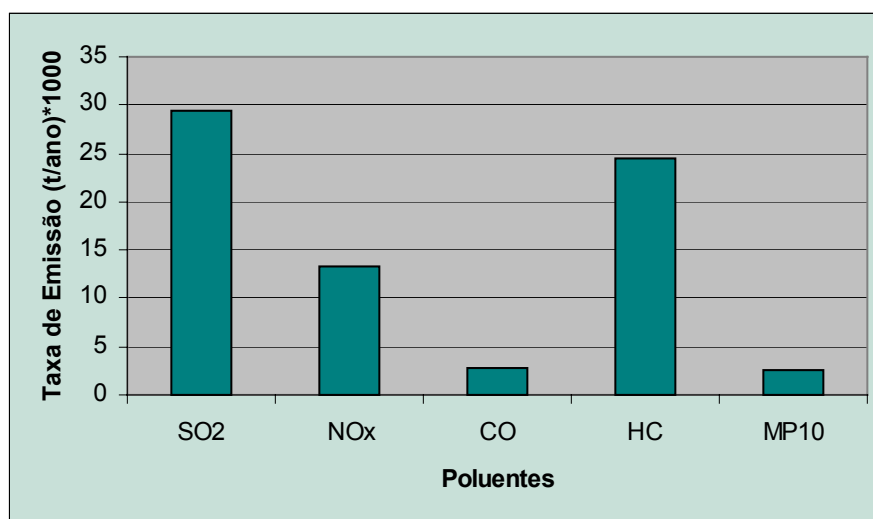
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

A maior contribuição nas emissões totais (58%) , como previsto, refere-se à Bacia Aérea III onde está concentrada a maioria das atividades industriais que fizeram parte deste estudo, quase 58% das empresas, sendo a área onde estão instaladas as refinarias e muitas outras atividades com elevado potencial poluidor.

Deste modo o perfil da taxa de poluentes gerado para a Bacia Aérea III é muito semelhante ao da atividade de refino de petróleo, evidenciando a importância desta tipologia para a carga de poluentes lançada na atmosfera, conforme mostrado na figura 6.14.

A carga poluidora de dióxido de enxofre lançada na Bacia Aérea III representa aproximadamente 53% do total deste poluente e 94,5 % do hidrocarboneto inventariado. Para o óxido de nitrogênio, a contribuição relativa é de aproximadamente 44% do total deste poluente lançado.

Figura 6.14: Contribuição da Bacia Aérea III

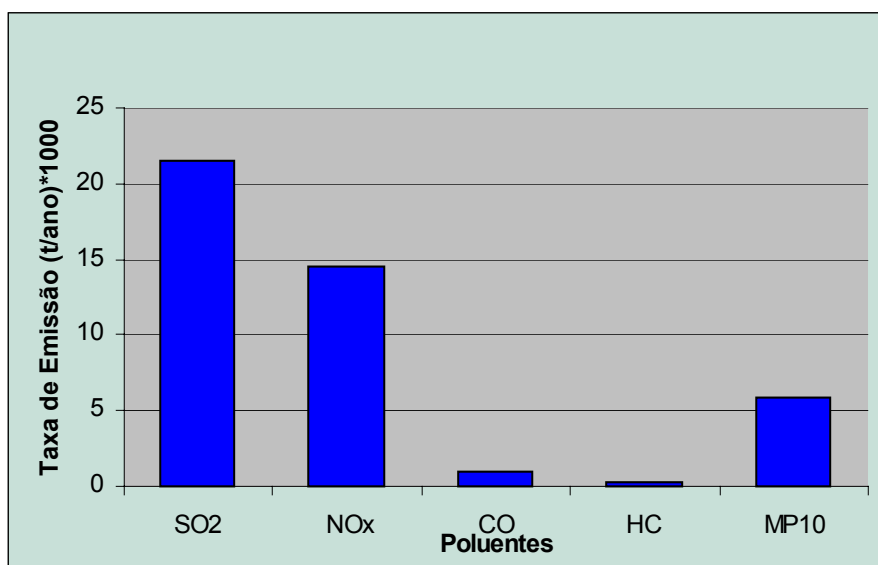


Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

Na Bacia Aérea I estão instaladas empresas de geração de energia, uma das principais contribuinte para as emissões totais (34%), químicas com elevado potencial poluidor, metalúrgicas com produção de alumínio e pequenas empresas de produção de asfalto que utilizam óleo combustível em seus processos de geração de energia térmica.

A contribuição do poluente dióxido de enxofre para esta região é de 38,5 % do total deste poluente lançado na RMRJ, de 48% para o óxido de nitrogênio e de 56% do material particulado inalável liberado.

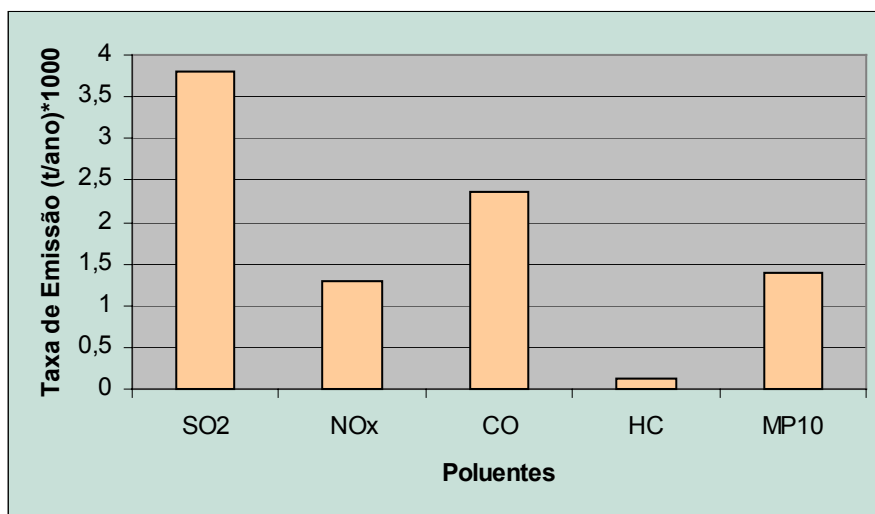
Figura 6.15: Contribuição da Bacia Aérea I



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

A Bacia Aérea IV apresenta uma grande concentração de atividades cerâmicas, como dito anteriormente, que fabricam tijolo, telhas etc., e utilizam, além do óleo combustível, madeira para a geração de calor no processo de cozimento das peças. Uma análise na figura 6.16 demonstra a participação no consumo de madeira através da taxa de monóxido de carbono relativamente alta (37%) se comparado com as outras áreas (44% lançados na Bacia Aérea III). Entretanto a elevada contribuição de dióxido de enxofre, aproximadamente 42% do total lançado na Bacia Aérea IV, evidencia o uso intenso de combustíveis fósseis, como o óleo combustível, nos processos de fabricação de produtos cerâmicos.

Figura 6.16: Contribuição da Bacia Aérea IV

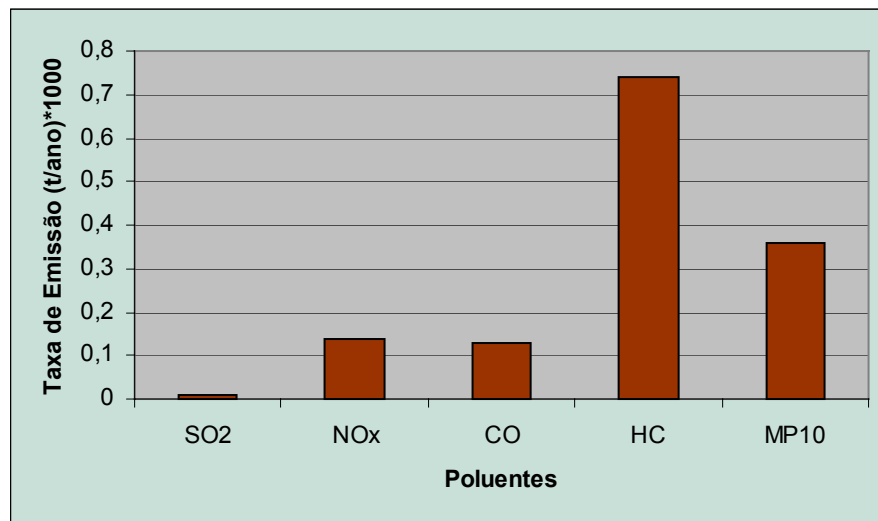


Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

A Bacia Aérea II foi a que contemplou o menor número de empresas inventariadas (21 de um total de 425) e apresentou menor participação na totalização das emissões (cerca de 1%). A figura 6.17, a seguir, ilustra a contribuição em termos de taxa de emissão por poluentes. Observa-se uma taxa de emissão de hidrocarbonetos relativamente alta em relação às demais, devido principalmente as indústrias farmacêuticas locais cujos processos de produção envolvem a manipulação contínua deste compostos na fabricação de produtos tais como ceras, detergentes, etc.

As emissões de hidrocarbonetos representam aproximadamente 54% da carga de poluentes liberados nesta região e, apenas 3% das emissões totais de hidrocarbonetos inventariados.

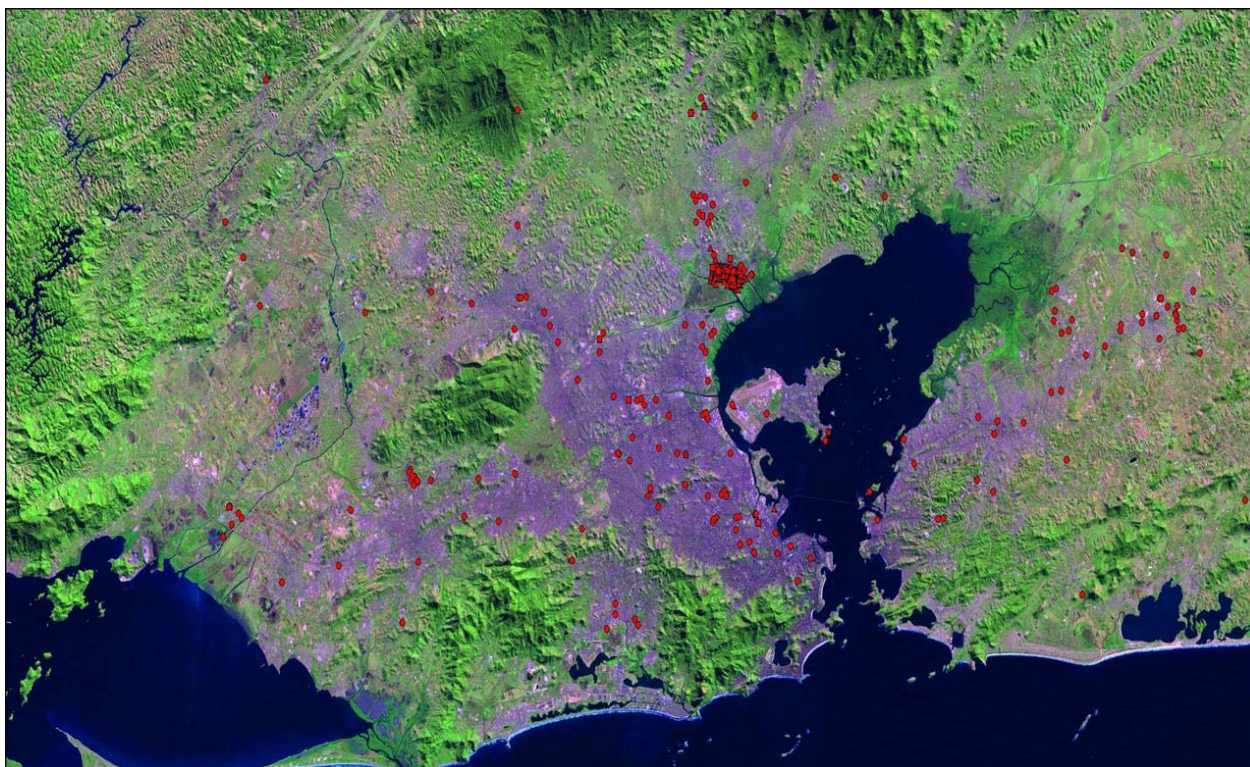
Figura 6.17: Contribuição da Bacia Aérea II



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de FEEMA (2004).

A figura 6.18, a seguir, apresenta a disposição geográfica das fontes emissoras de poluentes atmosféricos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Figura 6.18: Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da RMRJ



Fonte: FEEMA (2004).

6.2 Possibilidades de Utilização do Banco de Dados na Gestão da Poluição do Ar da RMRJ

De acordo com FEEMA (2004), para a gestão da poluição do ar é fundamental não só a definição das áreas mais impactadas, como também, a identificação, qualificação e quantificação das fontes emissoras de poluentes atmosféricos.

A FEEMA (2004) entende que o inventário de fontes de emissão de poluição atmosférica constitui-se num dos instrumentos mais úteis para um órgão ambiental, uma vez que define qualitativa e quantitativamente as atividades poluidoras do ar e fornece informações sobre a característica das fontes, definindo localização, magnitude, frequência, duração e contribuição relativa das emissões.

Assim este instrumento oferece a possibilidade de elaboração de diagnósticos e/ou a construção de cenários capazes de fortalecer as tomadas de decisões relativas ao

licenciamento de atividades poluidoras, à avaliação de impacto ambiental e às eventuais ações de controle necessárias.

Com este propósito são apresentadas, a seguir, algumas das possíveis utilizações das informações geradas num inventário de emissões, como o da RMRJ, capazes de auxiliar na tarefa de gerenciamento da poluição atmosférica.

6.2.1 Uso a partir da Distribuição Setorial

A utilidade dos dados desagregados, conforme a distribuição setorial realizada neste trabalho (item 6.1), é uma utilização imediata do inventário de emissões, pois revela o leque de participações nas emissões totais.

A análise permite que se trace um *ranking* das contribuições relativas de cada setor industrial que servirá de base para o conhecimento das principais atividades poluidoras.

No caso do inventário da RMRJ, observou-se que o setor de refino de petróleo responde por 42% do total das emissões geradas, enquanto que o setor de geração de energia responde por relativos 31%, a atividade petroquímica alcança 10% nas emissões totais, cerâmica 5%, química 4% e alimentícia 2%, as atividades restantes: metalúrgica, asfalto, têxtil, farmacêutica e vidro contribuem, individualmente, com cerca de 1% ; as demais: lavanderia, cimenteira, papel, fumo, naval e diverso participam com menos que 1% por atividade.

Este panorama, ilustrado na figura 6.5, dá um indicativo de quais setores industriais devem ser investigados, mais detalhadamente, quanto à atual tecnologia que vem sendo utilizada para abater as emissões, quanto ao processo produtivo empregado e quanto ao tipo de combustível utilizado, servindo, portanto, para a composição, aliado a outras variáveis, das políticas de estratégias de redução de emissões atmosféricas, em nível regulatório, papel do órgão ambiental, ou como ação pró-ativa por parte das atividades industriais.

Alguns exemplos da aplicação de tal abordagem podem ser encontrados em estudos como a análise regional e setorial das emissões de grandes fontes industriais na Índia, desenvolvidas por GARG *et al.* (2002); ou o inventário de emissões para a Europa Central por KLIMONT *et al.* (1994); ou, ainda, os estudos de emissões de poluentes atmosféricos para o Texas de autoria de DENNIS *et al.* (2002).

6.2.2 Uso a partir da Distribuição Geográfica

A análise realizada através da distribuição das emissões pelas unidades de planejamento de gestão da poluição do ar (bacias aéreas) mostrou um quadro onde a bacia aérea III, com 58% do total das emissões, é a região que contribui com a maior quantidade de poluentes. Logo em seguida vem a bacia aérea I com 34% das emissões totais.

A bacia aérea IV, com contribuição relativa de 7%, vem em terceiro lugar e, por último, com 1% das emissões a bacia aérea II.

A escala apresentada fundamenta o conhecimento prévio da supremacia da bacia aérea III na RMRJ, em termos de potencial de emissões atmosféricas, condizentes com o nível de ocupação industrial e desenvolvimento urbano desta região aliada à baixa capacidade dispersiva dos poluentes (FEEMA, 2001).

A região da Baía de Sepetiba (bacia aérea I), segundo CAVALCANTI (2003), que até a década de 60 caracterizou-se pela pesca e pelo turismo, nos últimos anos sofreu as consequências da expansão da RMRJ, o que teve como resultado grandes modificações nas estruturas espaciais, socioeconômicas e ecológicas da área em questão. O processo de industrialização e de desenvolvimento resultante tornou-se fonte de renda, gerando ciclos migratórios e riscos potenciais de poluição.

Estas observações, a partir dos dados do inventário, ganham caráter inovador e utilitário quando se aplica, por exemplo, a abordagem da densidade de emissões.

De acordo com este conceito, a região em estudo é seccionada em células formando as *grid cells* cujas taxas de emissões, por tipo de poluentes, em razão com a área definida pelas malhas permitem estabelecer a densidade de emissões da área analisada, geralmente expressa em t (de poluente)/km².ano ou t (de poluente)/milha².ano.

Segundo MANSON e HERTHER (1982) a densidade de emissão é função da capacidade e da eficiência dos equipamentos de controle instalados numa região, bem como, da variação do tipo de combustível fóssil consumido.

Os mesmos autores ressaltam ainda que o *ranking* estabelecido entre fontes pontuais versus emissão atmosférica está correlacionado com a densidade populacional e ao grau de industrialização.

A aplicação deste método de análise foi realizado para a Bacia Aérea III da RMRJ gerando um mapa de densidades de emissões para cada tipo de poluente inventariado o que permite um conhecimento mais detalhado da extensão do potencial de emissão instalado.

A figura 6.19 ressalta, de acordo com a legenda apresentada, duas áreas onde a densidade de SO_x supera o valor de $50 \text{ t/km}^2\text{.ano}$. A área com maior densidade, acima de $500 \text{ t/km}^2\text{.ano}$, representa locais dentro do município de Duque de Caxias onde são realizadas atividades de refino de petróleo e atividades petroquímicas, ambas responsáveis por razoável parcela na contribuição das emissões deste poluente. A outra área destacada, com densidade entre 50 e $500 \text{ t/km}^2\text{.ano}$, situada no município do Rio de Janeiro, apresenta grande concentração de atividades industriais de diversas tipologias que consomem em suas operações unitárias quantidades significativas de óleo combustível.

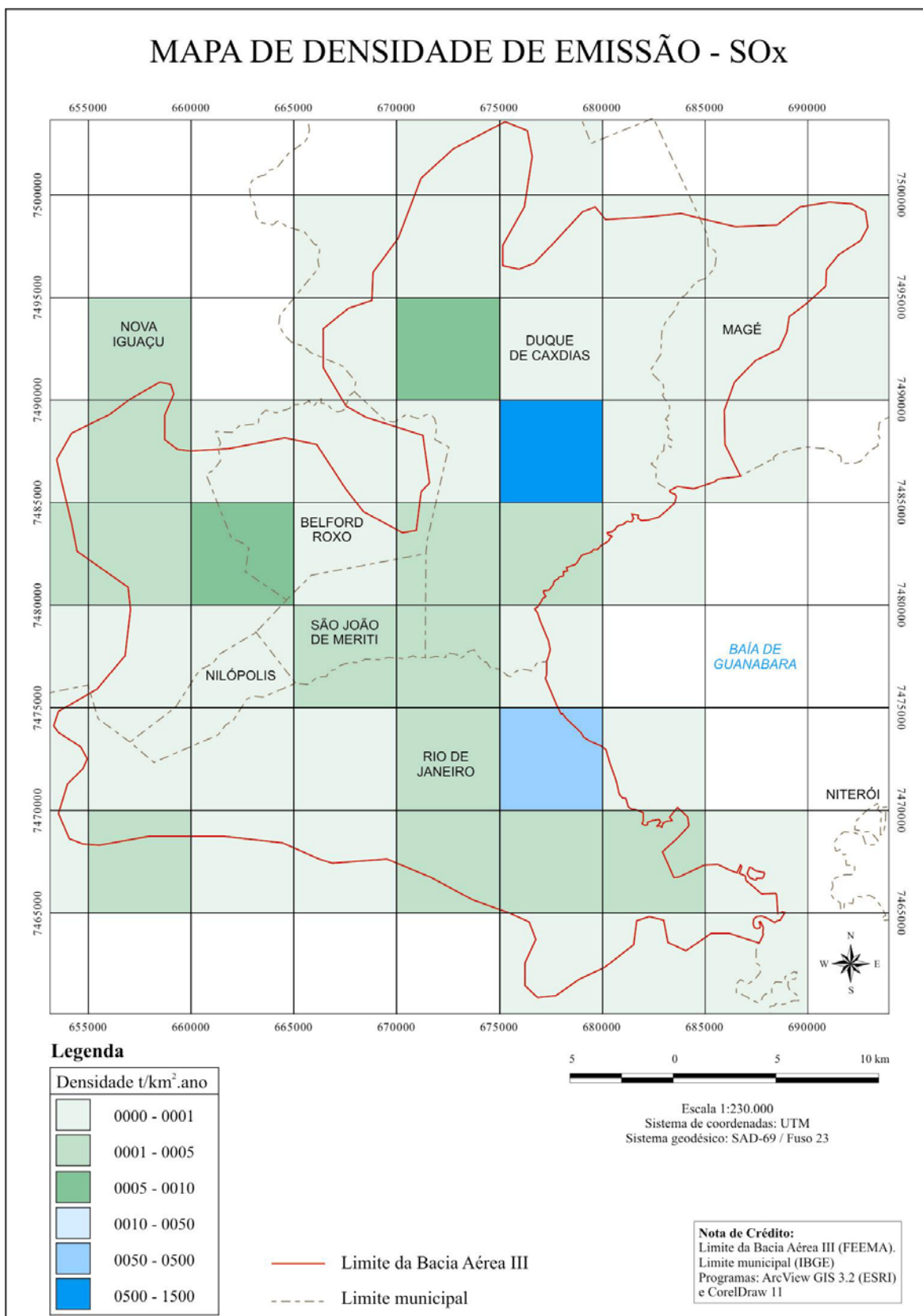
Na figura 6.20 destaca-se a mesma área da figura anterior para a região de Duque de Caxias com densidade de emissão de NO_x acima de $100 \text{ t/km}^2\text{.ano}$ e, outra, no município do Rio de Janeiro, na mesma faixa de densidade, onde predominam atividades que operam com intensa utilização de gás natural.

A densidade de emissão de monóxido de carbono, figura 6.21, apresenta distribuição semelhante ao do óxido de nitrogênio, porém com escala máxima entre 20 e $50 \text{ t/km}^2\text{.ano}$ enquanto que a anterior varia entre 100 e $250 \text{ t/km}^2\text{.ano}$.

A maior densidade de hidrocarbonetos, figura 6.22, localiza-se, como esperado, no setor do município de Duque de Caxias devido principalmente às atividades desenvolvidas pelas tipologias de refino de petróleo e petroquímicas. Na segunda região mais densa, no município do Rio de Janeiro, localizam também processos de refino de petróleo além de várias outras atividades químicas e farmacêuticas que utilizam gás natural como combustível e/ou estocam e transportam hidrocarbonetos em seus processos.

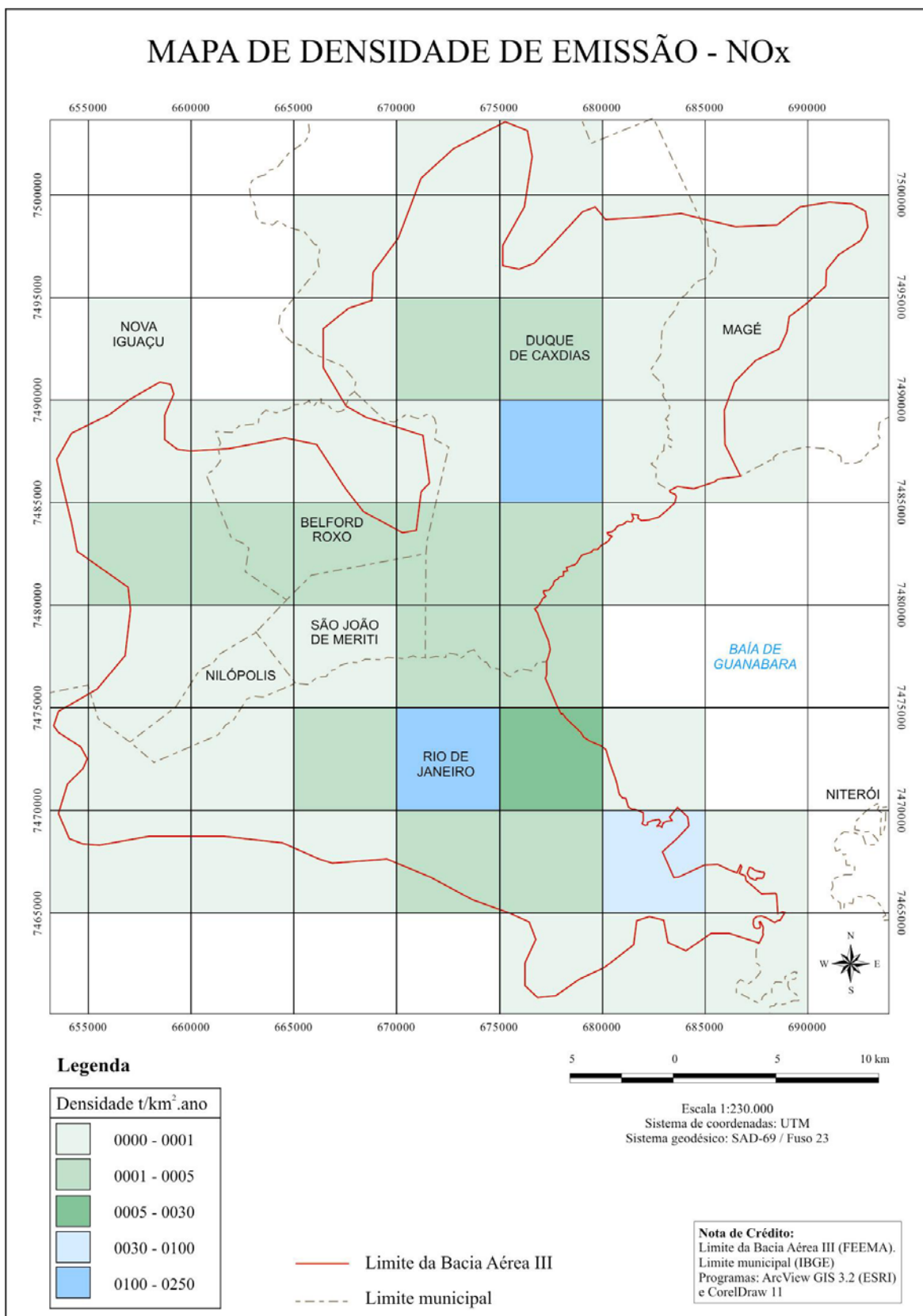
No caso do material particulado, de acordo com a figura 6.23, a maior densidade ficou por conta da região de Duque de Caxias onde se localizam as petroquímicas e as atividades de refino de petróleo.

Figura 6.19: Densidade de Emissão para o SO_x na RMRJ.



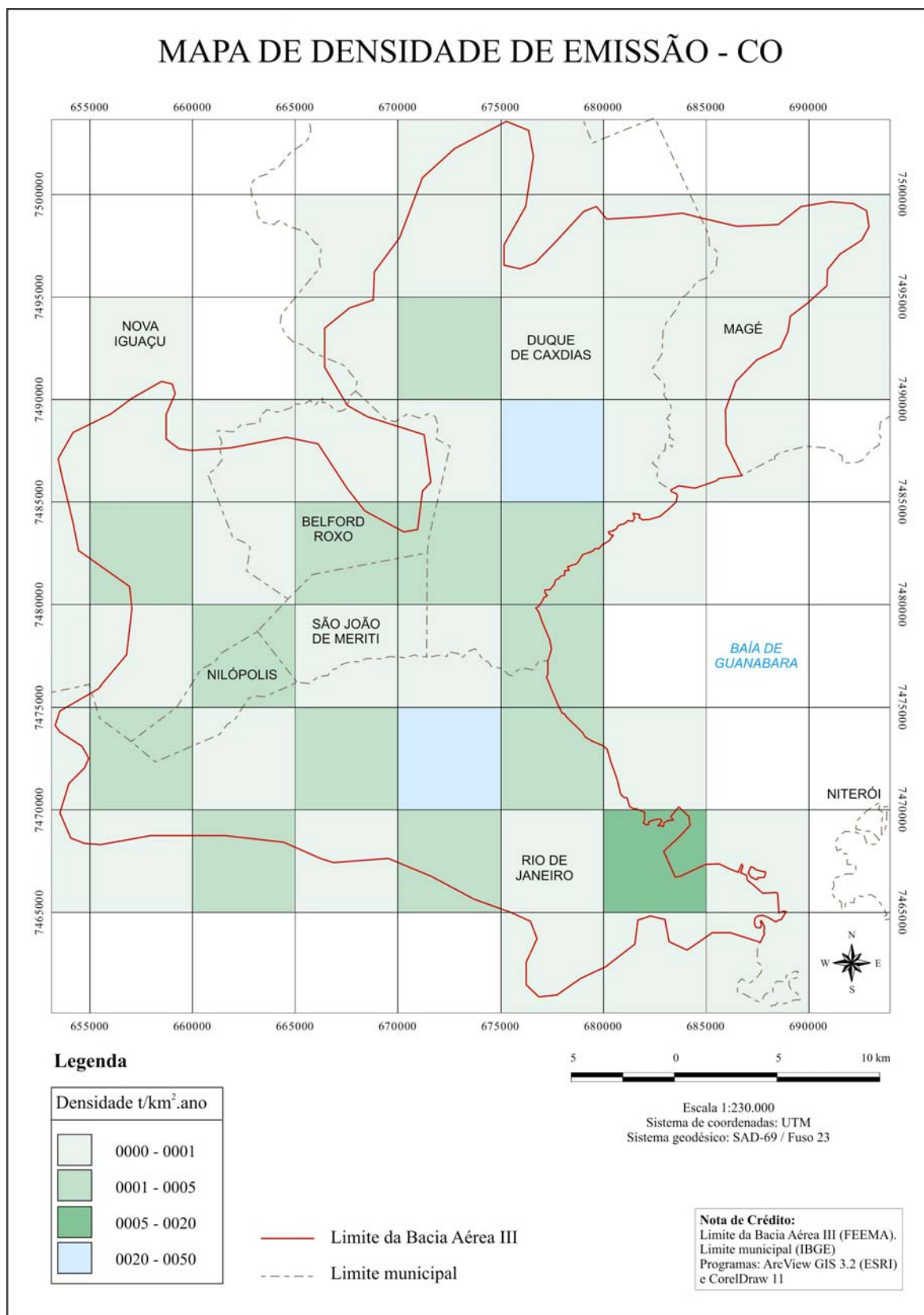
Fonte: Elaboração Própria a partir de FEEMA (2004).

Figura 6.20: Densidade de Emissão para o NO_x na RMRJ.



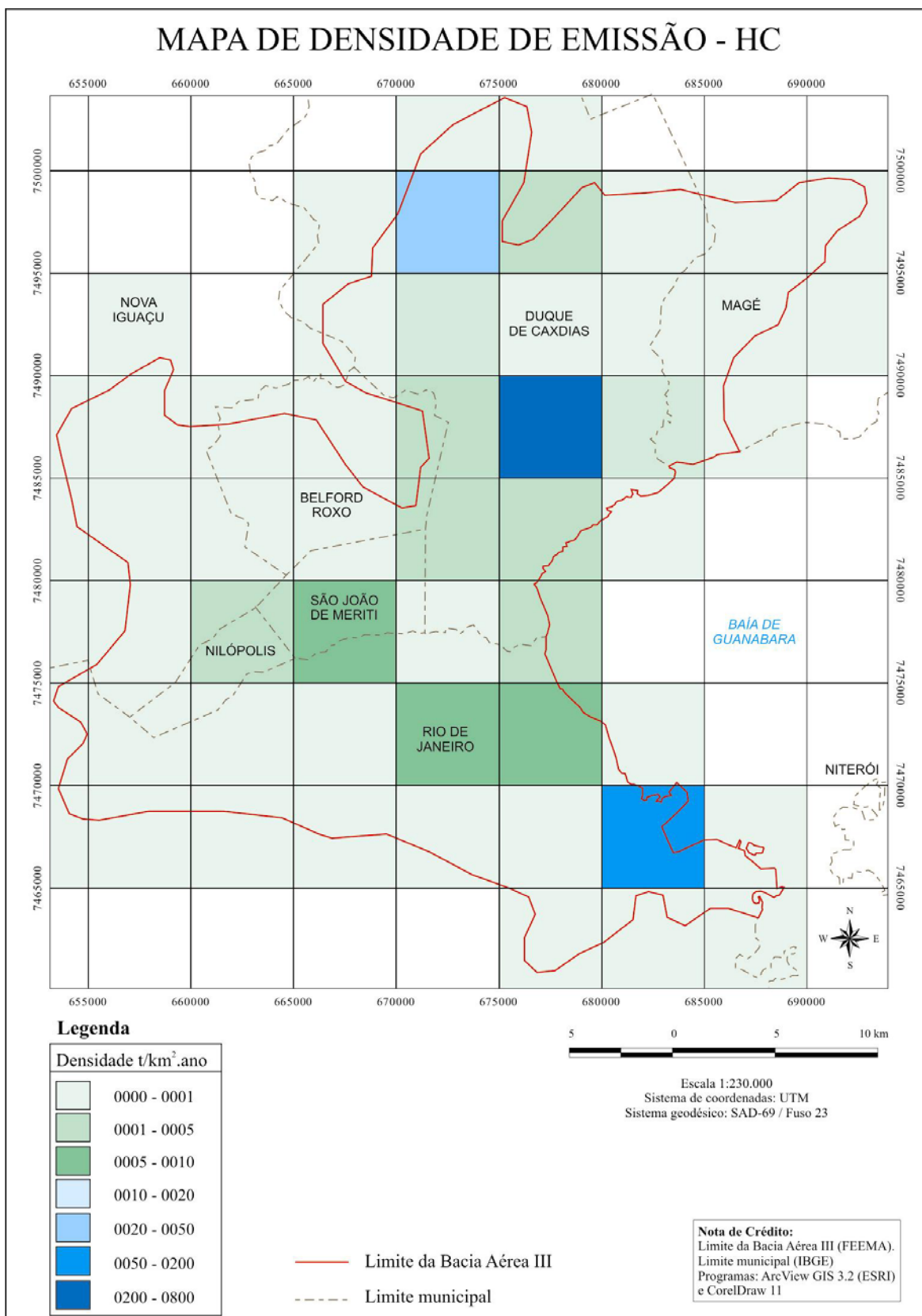
Fonte: Elaboração Própria a partir de FEEMA (2004).

Figura 6.21: Densidade de Emissão para CO na RMRJ.



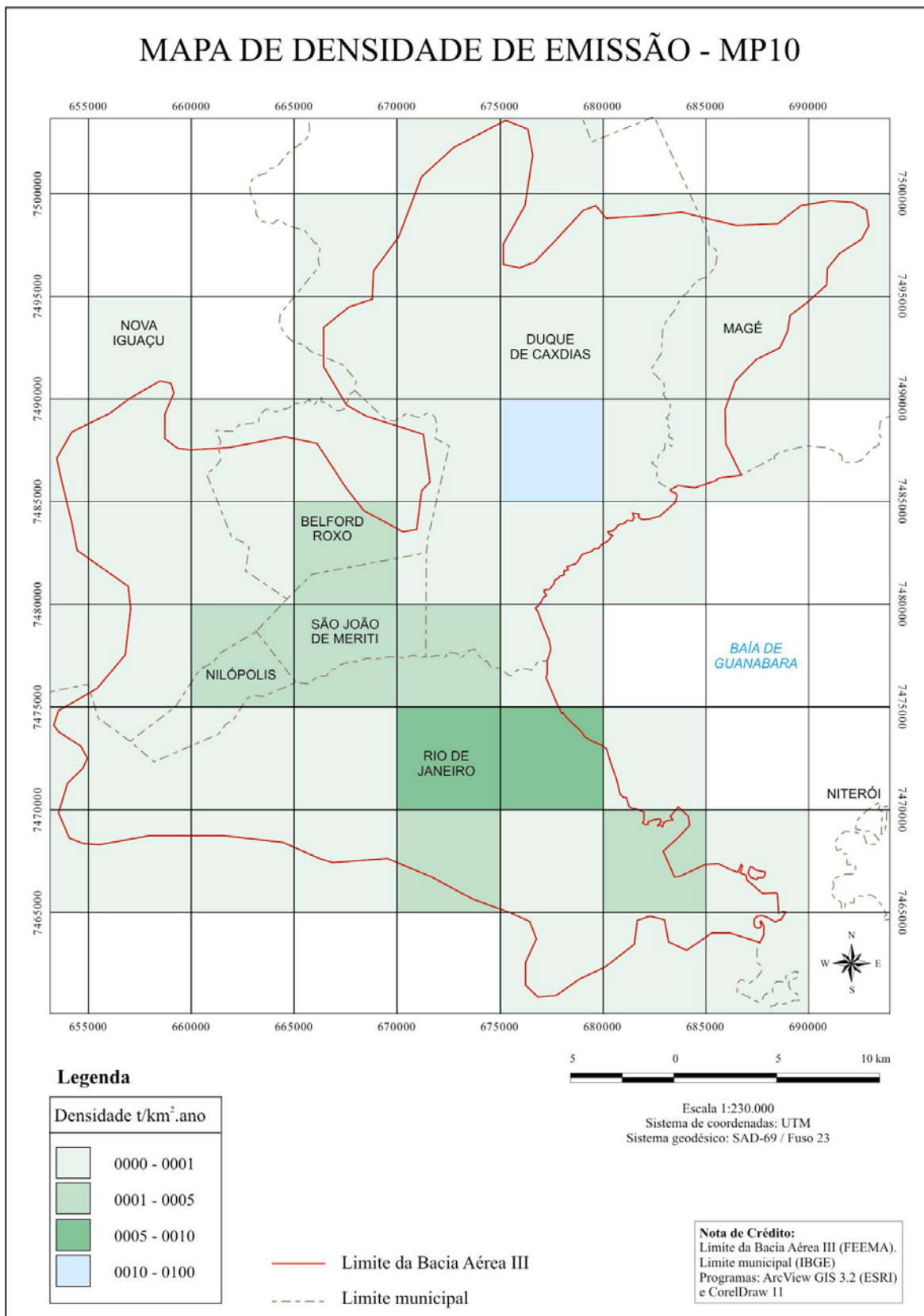
Fonte: Elaboração Própria a partir de FEEMA (2004).

Figura 6.22: Densidade de Emissão para HC na RMRJ.



Fonte: Elaboração Própria a partir de FEEMA (2004).

Figura 6.23: Densidade de Emissão para MP₁₀ na RMRJ.



Fonte: Elaboração Própria a partir de FEEMA (2004).

A utilização deste recurso releva o gradiente de concentração de poluentes numa área, encontrando espaço para emprego na ocasião do licenciamento ambiental ou em estudos ambientais com fins de apoio à decisão de localização de empreendimentos ou ao condicionamento tecnológico de empreendimentos já existentes.

6.2.3 Uso a partir da Criação de Cenários

A criação de cenários a partir do uso de diferentes opções tecnológicas, desde as mais simples, como a substituição de combustíveis fósseis utilizados por outros, com menor teor de carbono, até aquelas mais complexas, como as possibilidades de utilização de tecnologias ainda em desenvolvimento ou de tecnologias mais eficientes, ou ainda, a combinação das opções anteriormente apontadas, é um recurso que pode ser bastante útil quando se buscam soluções para redução das emissões atmosféricas.

A opção de introdução de tecnologias mais eficientes, segundo (COELHO, 2000), é um mecanismo eficaz para a redução de emissões quando não se pode alterar o combustível primário e, mais ainda, quando é combinada com a troca de combustível, por exemplo, o combustível óleo diesel sendo substituído por gás natural.

Ressalta-se, entretanto que o gás natural apesar de apresentar fatores de emissão inferiores aos demais combustíveis fósseis, é também um combustível fóssil e, portanto, apresenta emissões de carbono, além de elevadas emissões de outros gases como metano e óxidos de nitrogênio.

Dentro das possibilidades de redução nas emissões atmosféricas, o cenário adotado como exemplo propõe a simples substituição dos combustíveis fósseis atualmente utilizados (óleo diesel e/ou óleo combustível) por gás natural.

O cenário apresentado abordará apenas as atividades da tipologia geração de energia que apesar de contar com um número reduzido de fontes contribuintes possui um potencial, em termos de taxa de emissão, bastante significativo com aproximadamente 31% de participação nas emissões totais.

Esta substituição é avaliada com base apenas na substituição dos energéticos, considerando que a tecnologia da queima dos combustíveis continua sendo a mesma existente.

A demanda teórica de gás natural (DGN) é calculada através da fórmula:

$$\text{DGN} = \text{CCF} * \text{PCI (CF)} / \text{PCI (GN)} \quad (6.1)$$

onde:

CCF = consumo de combustível fóssil atual (óleo combustível ou óleo diesel);

PCI (CF) = poder calorífico inferior do combustível fóssil atual;

PCI (GN) = poder calorífico inferior do GN.

Assim, para a nova situação considerada, são calculadas novas emissões atmosféricas que são, então, comparadas com as taxas tomadas como base (ano-base do inventário).

A tabela 6.1 indica a demanda de gás natural necessária para o cenário apresentado.

Tabela 6.1: Demanda Teórica de GN para substituição de outros combustíveis fósseis (óleo diesel e/ou óleo combustível) utilizados no setor de geração de energia.

Consumo Real de Combustível			Demanda Teórica Equivalente		Total
Fóssil(m ³ /ano)			Gás Natural(m ³ /ano)		(m ³ /ano)
Óleo Combustível	Óleo Diesel	Gás Natural	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Gás Natural
744.518	3.584	958.370	818.263.376	3.529.347	822.751.094

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do inventário.

Observa-se, a partir da tabela acima, que setor de geração de energia contemplado no inventário da RMRJ poderia operar consumindo aproximadamente 822 milhões de m³/ano de gás natural. Com isso, os combustíveis fósseis (744.518 m³/ano de O.C. e 3584 m³/ano de O.D.) poderiam, em princípio, ser substituídos por gás natural sem que haja alteração na tecnologia existente.

Este simples exercício de substituição de combustíveis trás, com consequência direta, alterações significativas no aspecto das taxas de emissões quando gás natural é introduzido, como pode comprovado pela tabela 6.2.

Tabela 6.2: Comparação entre as emissões referentes ao consumo real de óleo combustível e a demanda equivalente de gás natural.

Taxa de Emissões (t/ano)*1000	Poluentes				
	SO ₂	NO _x	CO	HC	MP ₁₀
Consumo Real de Combustível Fossil	20,37	14,02	0,47	0,12	5,40
Demanda Teórica Equivalente	0,01	1,32	1,11	0,14	0,10

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do inventário.

A tabela 6.2 mostra reduções significativas nas taxas de dióxido de enxofre, da ordem de 99%, e de 90% para os óxidos de nitrogênio, além de redução de aproximadamente 98% na taxa de emissão de material particulado inalável. O uso de gás natural eleva, entretanto, as taxas de emissão de hidrocarbonetos, cerca de 17%, e de monóxido de carbono com acréscimo de 136%.

Este comportamento das novas emissões calculadas está em conformidade com os fatores de emissão utilizados para fontes fixas que utilizam gás natural, e podem ser encontrados no *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (EPA, 1995).

O cenário apresentado considera a hipótese de disponibilidade de gás natural na região em estudo, o que de fato ocorre no caso da RMRJ, e não impõe dificuldades à adaptação das instalações existentes para a queima de gás natural, o que incorreria em custos adicionais para efetuar a adaptação. Deve ser ressaltado que este estudo tem apenas o caráter de ilustrar um possível desdobramento das informações geradas um inventário de emissões, não esgota, porém a variedades de análises possíveis com modificações e/ou substituições diversas.

Além dos usos acima exemplificados, um inventário de emissões pode ser usado para avaliar a qualidade do ar de uma região e suas relações com os padrões de qualidade do ar, servindo como dados de entrada para o desenvolvimento de modelos preditivos da concentração de poluentes; para avaliar a efetividade dos programas de controle de poluição e servir de base para a implementação de mudanças necessárias nestes programas; para conduzir a avaliação ambiental de novas fontes ou como base de análise nos processos de licenciamento ambiental; para a definição de áreas onde serão implantados monitores de qualidade do ar, entre outras aplicações, conforme descritas no capítulo 4.

Capítulo 7: Conclusões e Considerações Finais

O presente trabalho mostrou como foi realizado o processo de inventário de emissões atmosféricas de fontes fixas na RMRJ, segundo a metodologia utilizada pela agência ambiental americana. Os resultados gerados apresentados foram, então, analisados com vistas a fornecer informações úteis no auxílio à tarefa de gerenciamento da poluição do ar desta região.

Conforme ficou evidenciado no capítulo V, a RMRJ possui algumas áreas com qualidade do ar comprometida por apresentar uma grande concentração de fontes de emissão de poluentes atmosféricos, sendo, portanto, considerada pelo órgão ambiental do estado, área prioritária em termos de ações de controle da poluição do ar.

No estudo original, as principais fontes emissoras foram identificadas e inventariadas, totalizando 1901 fontes significativas na RMRJ, sendo 1641 fontes fixas e 260 segmentos de fontes móveis (FEEMA, 2004).

Esta dissertação se restringiu à investigação das fontes fixas apesar de se reconhecer, através da literatura, e agora com a consolidação dos resultados obtidos, a principal participação das fontes móveis nas emissões atmosféricas das grandes metrópoles.

A tabela 7.1, abaixo, mostra um resumo dos resultados obtidos para o total das fontes do inventário de acordo com o tipo de fonte e poluentes inventariados.

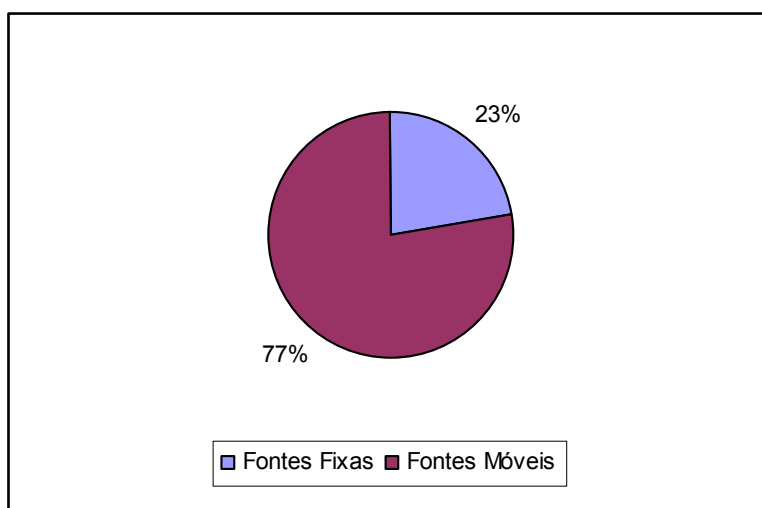
Tabela 7.1: Taxas de Emissão por tipo de Fontes na RMRJ

Tipo de Fonte	Taxa de Emissão de Poluentes(t/ano)*1000				
	SO ₂	NO _x	CO	HC	MP ₁₀
Fontes Fixas	55,8	30,3	6,4	25,9	10,6
Fontes Móveis	7,5	60,2	314,7	53,4	7,8
Total	63,3	90,5	321,1	79,3	18,4

Fonte: FEEMA (2004).

Como dito anteriormente, as informações apontam que no universo de fontes consideradas, as fontes móveis são responsáveis por 77% do total de poluentes lançados na atmosfera e as fontes fixas por 23% (FEEMA, 2004), conforme pode ser avaliado pela figura 7.1.

Figura 7.1: Contribuição das Fontes na Carga Poluidora da RMRJ



Fonte: FEEMA (2004).

O gerenciamento da poluição atmosférica que vem sendo praticado pela FEEMA foi analisado no capítulo V merecendo destaque os seguintes comentários:

- A legislação pertinente ao ambiente atmosférico incorre em defasagens, acompanhando a tendência em nível nacional, no estabelecimento de padrões de qualidade: padrões de qualidade do ar e padrões de emissão. Os primeiros não contemplam os poluentes na sua totalidade, não havendo padrões para os óxidos de nitrogênio e nem referência às emissões de hidrocarbonetos. Os padrões de emissão existentes estão restritos às fontes de combustão externa que utilizam óleo combustível e óleo diesel, não havendo referência ao gás natural;
- No que se refere ao licenciamento e ao estudo de impacto ambiental de atividades potencialmente poluidoras, observam-se lacunas na abordagem apresentada por

não considerarem os impactos sinérgicos ou cumulativos, além de não haver o enquadramento destes impactos na devida escala de abrangência;

- O Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera – PROCON-AR ainda se apresenta limitado em termos de grau de cobertura das diversas fontes existente na jurisdição da FEEMA, havendo necessidade aparente de expansão de suas ações;
- A implantação do Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso no Rio de Janeiro tem atingido seu objetivo que é a melhoria da qualidade do ar, diminuindo ao máximo a emissão de poluentes dos veículos automotores e, desta forma, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população;
- Os resultados do sistema de monitoramento da qualidade do ar indicam a necessidade de se expandir a rede a fim de se obter informações mais apuradas sobre a concentração de poluentes em áreas onde ainda não existe monitoramento e, em áreas da RMRJ que possuem um processo de desenvolvimento industrial ainda rarefeito, mas que não possuem informações do estado original do ambiente atmosférico que caracterize uma situação de *background*.

Observa-se claramente através da análise dos indicadores dos instrumentos apresentados e, particularmente através dos resultados do monitoramento da qualidade do ar, uma vez que o monitoramento de fonte é ainda incipiente e, portanto, não sendo útil para se fazer inferências de ordem global, que a RMRJ necessita intensificar as ações de seus programas de gerenciamento da poluição atmosférica.

O Inventário de Emissões Atmosférica da RMRJ realizado recentemente subsidia possibilidades de fortalecimento das ações que vem sendo praticadas, pois segundo a FEEMA (2004) define qualitativa e quantitativamente as atividades poluidoras do ar e fornece informações sobre as características das fontes, definindo localização, magnitude, frequência, duração e contribuição relativa das emissões.

A estimativa de emissões realizada na RMRJ está baseada no cálculo de emissões com a ampla utilização de fatores de emissão.

Durante o processo do inventário da RMRJ optou-se sempre por métodos de estimativas apropriados de acordo com os critérios do EIIP, procurando, assim a utilização de fatores de emissão com maiores índices de confiabilidade disponíveis, além da documentação referenciada o que promove transparência ao inventário.

Segundo FEEMA (2004), o inventário apresenta a radiografia atual da questão da poluição do ar e identifica as áreas mais impactadas, atribuindo, desta forma responsabilidades às fontes emissoras de poluentes atmosféricos.

Estima-se que com a consolidação das 425 atividades industriais inventariadas, cerca de 90% do potencial poluidor das fontes fixas tenha sido mapeado, cabendo os 10% restantes às pequenas empresas que em processos futuros de atualização do inventário passam contribuir com suas cargas para a completude do inventário do RMRJ (FEEMA, 2004).

Apesar da abordagem *bottom-up* ter sido utilizada em todas as empresas inventariadas, buscando sempre a totalidade das emissões das atividades, em algumas situações não foi possível o cálculo das emissões de diferenciadas operações unitárias destas atividades em função da não existência de fatores de emissão apropriados ou da escassez de informações para realização de balanços de massa.

Desta forma, alguns tipos de emissões evaporativas como, por exemplo, as emissões originárias dos processos de galvanoplastia pelo uso de solventes é um dos pontos que precisa ser revisto para a melhoria do inventário.

A fim de tornar a base de dados gerados úteis às políticas públicas relacionadas ao uso do solo e ocupação industrial, dentre outros usos possíveis do inventário, o capítulo VI demonstrou, através da análise dos resultados realizada, pontos importantes que merecem ser destacados:

- O dióxido de enxofre é o principal poluente emitido em termos de contribuição da carga total liberada na RMRJ, com cerca de 40%, logo em seguida aparece o óxido de nitrogênio com 22% das emissões totais;
- O universo de fontes fixas analisado se distribui em dois tipos principais: as fontes pontuais, que correspondem a 79% do total de fontes fixas inventariado e, as fontes tridimensionais, com participação de 21%, cujas principais emissões são de hidrocarbonetos;
- Através da desagregação por tipologias ficou evidenciada a supremacia das atividades de refino de petróleo como principais atividades emissoras, responsáveis por 42% das emissões totais;
- As atividades de geração de energia instaladas na RMRJ respondem por aproximadamente 31% do total das emissões atmosféricas geradas;
- As atividades petroquímicas, cerâmica, química e alimentícia são responsáveis por 10%, 5%, 4% e 2% respectivamente do total das emissões, enquanto que as demais atividades contribuem com 1% ou menos da totalidade;
- Na atividade de refino de petróleo os principais poluentes emitidos são: o dióxido de enxofre, quase 50% do total deste poluente, e o hidrocarboneto com 71% do total deste poluente;
- Para a atividade de geração de energia aparece também em destaque o dióxido de enxofre com contribuição de 36,5% do total deste poluente, além do óxido de nitrogênio que atinge 46% deste poluente emitido;
- O enquadramento das fontes estacionárias nas quatro bacias áreas que compõem a RMRJ demonstrou que a Bacia Aérea III é a que recebe maior carga de emissões atmosféricas, com índice de aproximadamente 58% do total das emissões liberadas. A Bacia Aérea I concentra uma carga de 34% das emissões, enquanto que as outras duas, Bacias Aéreas IV e II, concentram cargas de 7% e 1% respectivamente;

- O perfil de emissões atmosféricas da Bacia Aérea III aponta o dióxido de enxofre e o hidrocarboneto como principais poluentes nesta região, com taxas de 53% do total deste poluente para o primeiro e 94,5% para o segundo;
- Na Bacia Aérea I a contribuição do poluente dióxido de enxofre é de 38,5% do total deste poluente lançado, de 48% para o óxido de nitrogênio e de 56% do total do material particulado inalável;
- O poluente com maior contribuição relativa em relação ao total das emissões, na Bacia Aérea IV, é o monóxido de carbono com índice de 37%;
- A Bacia Aérea II apresentou menor participação na totalização das emissões, cerca de 1%, sendo as emissões de hidrocarboneto e material particulado as principais emissões liberadas.

Dentre as várias possibilidades de uso das informações geradas num inventário, como este aplicado a uma região metropolitana, o capítulo VI abordou utilizações práticas que podem, por exemplo, ser realizadas em estudos e análises de empreendimentos pelos dois pólos envolvidos na negociação, por ocasião do licenciamento ambiental.

A primeira possibilidade apontada deriva da análise da contribuição relativa das tipologias nas emissões totais, fornecendo um panorama das principais atividades poluidoras, conforme destacado nos itens elencados acima. Este conhecimento encontra imediata aplicação balizando análises investigativas quanto à atual tecnologia que vem sendo utilizada para abater as emissões, quanto ao processo produtivo empregado e quanto ao tipo de combustível utilizado, servindo, portanto, para a composição, aliado a outras variáveis, das políticas de estratégias de redução de emissões atmosféricas, em nível regulatório, papel do órgão ambiental, ou como ação pró-ativa por parte das atividades industriais.

A segunda possibilidade está baseada na distribuição das emissões atmosféricas pelas unidades de planejamento ambiental, bacias aéreas. O perfil delineado, como apresentado nos itens elencados acima, destaca a Bacia Aérea III como principal contribuinte para a

carga total de poluentes. A partir desta constatação, aplicou-se o conceito de densidade de emissões para esta região gerando um mapa de densidade para cada tipo de poluente, o que permitiu um conhecimento mais aprofundado da extensão do potencial de emissão instalado, conforme os itens destacados:

- Observou-se, para o poluente SO_x , que a área com maior densidade deste poluente, acima de $500 \text{ t/km}^2\text{.ano}$, localiza-se dentro do município de Duque de Caxias. A segunda maior densidade, com valor entre 50 e $500 \text{ t/km}^2\text{.ano}$, localiza-se no município do Rio de Janeiro;
- Para o poluente NO_x , observou-se a existência de densidade de emissão acima de $100 \text{ t/km}^2\text{.ano}$ para a mesma área que a anterior no município de Duque de Caxias. No município do Rio de Janeiro, observou-se também uma área com densidade de emissão para o NO_x maior do que $100 \text{ t/km}^2\text{.ano}$;
- A densidade de emissão para o CO apresenta distribuição geográfica muito semelhante ao do poluente NO_x , sendo as áreas em destaque as mesma, porém com escalas máximas entre 20 e $50 \text{ t/km}^2\text{.ano}$;
- No caso da distribuição de hidrocarbonetos, a área com maior densidade localiza-se no Município de Duque de Caxias com taxas que variam entre 200 e $800 \text{ t/km}^2\text{.ano}$, em seguida aparece uma área no município do Rio de Janeiro apresentando valores entre 50 e $200 \text{ t/km}^2\text{.ano}$;
- A maior densidade de emissão para o material particulado inalável, com valores entre 10 e $100 \text{ t/km}^2\text{.ano}$, ficou por conta da área localizada no município de Duque de Caxias.

Estas informações, aliadas a outras variáveis, podem ser utilizadas para nortear estudos de localização de empreendimentos na ocasião do licenciamento ambiental ou em estudos ambientais com fins de condicionamento tecnológico de empreendimentos já existentes.

A última possibilidade delineada cria um cenário hipotético de substituição do combustível atualmente utilizado (óleo combustível e/ou óleo diesel) por gás natural, considerando apenas a tipologia de geração de energia. Considerou-se, também, a disponibilidade deste combustível na RMRJ e a manutenção da mesma tecnologia de queima. A demanda teórica necessária de gás natural para a substituição foi estimada em aproximadamente 822 milhões de m³/ano.

As novas emissões calculadas, a partir deste exercício de substituição de combustível, apresentaram reduções significativas nas taxas de dióxidos de enxofre, com redução da ordem de 99% ,nas taxas de óxidos de nitrogênio com 90% de redução e nas taxas de material particulado, aproximadamente 98% de redução. O uso de gás natural revelou, entretanto, aumento nas taxas de emissão de hidrocarbonetos em aproximadamente 17%, e de monóxido de carbono com acréscimo de 136%.

Este tipo de abordagem permite o conhecimento das variações nas emissões frente a simples substituição de combustíveis por outros com menor teor de carbono, como realizado neste trabalho, ou a substituição da tecnologia de controle, ou ainda, a combinação das duas substituições propostas de modo a se averiguar a variação das novas taxas a fim de se buscar soluções para a redução nas emissões atmosféricas. Neste tipo de análise é preciso levar em consideração a possibilidade de adaptação das instalações existem para a queima de gás natural e, obviamente, o custo envolvido na substituição.

O inventário de emissões realizado na RMRJ, como dito anteriormente, tem o caráter de servir como base para a execução de políticas ambientais capazes de trazer benefícios à qualidade do ar destas regiões seja através do licenciamento ambiental ou do zoneamento industrial.

O uso final do inventário justifica, portanto, a busca na confiabilidade e precisão dos dados através do emprego de recursos capazes de gerar um banco de dados consistente. Neste sentido, o inventário da RMRJ contou, até então, com a execução de procedimentos de validação através da implantação do sistema de qualidade do inventário, segundo os moldes da metodologia americana.

Assim foram realizados procedimentos de controle de qualidade nas etapas de coletas de informações e da realização dos cálculos das emissões, além dos procedimentos de garantia da qualidade com revisões periódicas da base de dados e procedimentos de auditorias.

Os procedimentos de verificação são usados com o objetivo de atestar a veracidade das emissões calculadas em relação às emissões reais dando informações sobre a confiabilidade do inventário gerado. No caso do inventário da RMRJ, os procedimentos de verificação ainda não foram realizados, o que, em geral, é feito quando se pretende dar utilização imediata aos dados.

Segundo AARDENNE (2002) e WEBSTER (2002) a abordagem das estimativas das emissões baseada na utilização de fatores de emissão agrega informações que conduzem a uma representação inexata frente às emissões reais, ou seja, estabelece a incerteza do inventário de emissões.

Em situações como a da RMRJ, onde as emissões foram essencialmente calculadas com fatores que expressam a realidade em nível nacional, dos EUA, as incertezas devem assumir importância significativa, apesar dos esforços despendidos na tentativa de minimizar estes efeitos, seja através da escolha criteriosa do fator que melhor representasse o processo nacional, do ajuste de similaridade de combustíveis nacionais e americanos, ou ainda, do uso do teor de enxofre real fornecido pelas atividades industriais.

Uma avaliação quantitativa das incertezas das emissões no inventário da RMRJ representa um elemento essencial para atestar a exatidão e precisão do processo, sendo, portanto, necessário convergir esforço, para sua realização futura.

As incertezas agregadas ao inventário que foi realizado na RMRJ poderiam ter sido reduzidas significativamente se houvesse a opção de utilização de fatores de emissão de indústrias nacionais como as do Estado de São Paulo. Para tanto existe a necessidade de se conhecer a existência e a disponibilidade de um banco de dados abrangente que expressem a realidade regional ou nacional, o que atualmente não se verifica, havendo,

portanto um amplo campo de trabalho a ser explorado com a finalidade de se obter melhorias nas estimativas das emissões atmosféricas do país.

De uma maneira geral, no Brasil, os principais instrumentos utilizados no controle da poluição do ar são os padrões de qualidade e os de emissão. Entretanto, o que se observa hoje, é que pouco se discute o desenvolvimento e a aplicação desses padrões, ou melhor, não se leva em conta que mudanças tecnológicas ocorrem, que novos estudos e pesquisas vêm sendo realizadas, etc (CAVALCANTI, 2003), sendo necessário a revisão e a atualização da legislação ambiental brasileira quanto às emissões atmosféricas dos poluentes regulamentados.

A Resolução CONAMA 05/89 institui o PRONAR que elege como estratégica básica nacional a limitação das emissões por tipologias de poluentes e poluentes prioritários, dando aos padrões de qualidade do ar caráter de ação complementar de controle.

Dentre os instrumentos de apoio e operacionalização empregados, a fim de tornar as ações de controle, definidas pelo PRONAR, concretas, destaca-se o Programa Nacional de Inventário de Fontes Poluidoras do Ar.

Segundo a própria Resolução CONAMA 05/89, a criação de um Inventário Nacional de Fontes de Poluição objetiva o desenvolvimento de metodologias capazes de permitir o cadastramento e a estimativa de emissões, bem como o devido processamento dos dados referentes às fontes de poluição do ar.

Observa-se, até o momento, a criação de iniciativas, como I Seminário de Inventário de Emissões de Poluentes do Ar, realizado em maio de 2003 pelo Ministério do Meio Ambiente, que visam veicular a implementação do PRONAR, e conseqüentemente do Inventário Nacional, a fim de que se possa dispor de uma ferramenta cuja metodologia atenda às particularidades nacionais. Entretanto, a implementação do Inventário Nacional encontra-se em fase incipiente, havendo necessidade urgente de concentrar esforços para sua viabilização.

No Brasil, apesar de ainda rarefeitos em nível nacional, existem esforços institucionais em nível estadual que tem promovido a implementação de programas de inventário de fontes de poluição atmosférica aplicados a regiões metropolitanas e a grandes empreendimentos, com base em metodologias tradicionalmente utilizadas no mundo.

É necessário, entretanto, o desenvolvimento de uma metodologia que esteja em harmonia com as intenções de todo o território brasileiro, mas que fundamentalmente considere as especificidades de cada região produtiva do país através do desenvolvimento de pesquisas em torno do estabelecimento de fatores de emissão representativos da nossa realidade.

Capítulo 8: Referências Bibliográficas

- AARDENNE, J.A., BUILTJES, P.J.H., HORDIJK, L., KROEZE, C., PULLES, M.P.J., 2002, "Using wind-direction differences between model calculation and field measurements as indicator for the inaccuracy of emissioj inventories" *Atmospheric Environment*, v.36, pp. 1195-1204.
- AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, 1992, *Air Pollution Engineering Manual*. New York, Van Nostrand Reinhold.
- ASSUNÇÃO, J., HASEGAWA, P.T., 2001, Geração Termelétrica com Turbinas a Gás Natural e seu Impacto na Qualidade do Ar. Workshop: "Geração Termelétrica a Gás Natural", promovido pelo IBAMA e PETROBRAS, Porto Alegre-RS.
- BAIR, C., 2002, *Química Ambiental*. 2 ed. Porto Alegre, Bookman.
- BOUBEL, R.W *et al.*, 1984, *Fundamental of Air Pollution*, San Diego, Academic Press Inc.
- BRETSCHNEIRDER, B., KURFURST, J., 1987, *Air Pollution Control Technology*, Amsterdam-Oxford-New York, Elsevier.
- CAVALCANTI, P.M.S., 2003, *Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CETESB -Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, 1997. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo -1997. São Paulo.
- CETESB -Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, 2002. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo -2001. São Paulo.

- CIDE, 2001.*Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro*.Centro de Informações de Dados do Rio de Janeiro/Secretaria de Estado de Planejamento e Controle-SECPLAN/Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- COELHO, S.T., PALETA,C.E.M,FREITAS,M.A.V.,2000,*Medidas Mitigadoras para a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Geração Termelétrica*, Brasília,Brasil,Dupligráfica.
- CONAMA (1989), Resolução CONAMA nº 05, Dispõe sobre o Programa Nacional da Poluição do Ar – PRONAR – Data da Legislação: 15/06/89 – Publicação DOU: 25/08/89.
- CONAMA (1990a), Resolução CONAMA nº 03, Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no – PRONAR – Data da Legislação: 28/06/90 – Publicação DOU: 22/08/90.
- CONAMA (1990b), Resolução CONAMA nº 08, Dispõe sobre padrões de emissão para instalação de novas fontes de combustão externa do ar, previstos no – PRONAR – Data da Legislação: 28/06/90 – Publicação DOU: 22/08/90.
- CONAMA (1997), Resolução CONAMA 237, Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecido na Política Nacional de Meio Ambiente – Data da Publicação: 22/12/1997 – Publicação DOU: 22/12/1997.
- CORBITT,R.A.,1989,*Standart Handbook of Environmental Enginnering*.McGraw-Hill, Inc.
- DENNIS,A.,FRASER,M.,ANDERSON,S.,ALLEN,D.,2002."Air pollutant emission associated wiht forest,grassland,and agricultural burning in Texas",*Atmospheric Environment*, v.36, pp 3779-3792.
- DETRAN -Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro e FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente, 2001.Poluição Veicular na Estado do Rio de Janeiro.Rio de Janeiro.

- DORST, J., 1973, *Antes que a natureza morra: por uma ecologia política*.São Paulo. Edgar Blucher.
- EEA,2002,European Environment Agency,Atmospheric Emission Inventory Guidebook,3 ed,September,2002.
- EEA,2003,European Environment Agency,Atmospheric Emission Inventory Guidebook,3 ed,September,2003.
- EEA,2004a,European Environment Agency,Annual European Community CLRTAP emission inventory 1990 - 2002.
- EEA,2004b,European Environment Agency,Site Internet www.reports.eea.eu.int/ (Acessado em Outubro de 2004).
- EPA,1995, U.S.Environmental Protection Agency, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, AP-42, Fifth Edition, Introduction, January,1995.
- EPA,1996,U.S.Environmental Protection Agency, Emission Inventory Improvement Program.Volume III: *Introduce to the Area Souce Emission Inventory Development*,July,1996.
- EPA,1997a,U.S.Environmental Protection Agency,Atmospheric Emission Inventory Guidebook,3 ed,September, Agency, *Emission Inventory Improvement Program*.Volume I: *Introduce to the Emission Inventory Improvement Program*, July,1997.
- EPA,1997b,U.S.Environmental Protection Agency, Emission Inventory Improvement Program.Volume II: *Introduce to the Stationary Point Souce Emission Inventory Development*,July,1997.
- EPA,1997c,U.S.Environmental Protection Agency, Emission Inventory Improvement Program.Volume VI : *Introducion: The Value of QA/QC* ,July,1997.

- EPA,1997d,U.S.Environmental Protection Agency, Emission Inventory Improvement Program.Volume VII : *Date Management Procedures*,September,1997.
- EPA,1999,U.S.Environmental Protection Agency, Handbook for criteria Pollutant Inventory Development: A Beginner's Guide for Point and Area Sources,September,1997.
- EPA,2002, U.S.Environmental Protection Agency,*National Ambient Air Quality Standards*(NAAQS).
- ETCAE (European Topic Centre on Air Emissions) 1996,Review of CORINAIR90 – Proposals for Air Emissions 1994,November 1996.
- ETI (ENVIRONNEMENT ET TECHNOLOGIE INTERNATIONALE) 2000, Relatório de Estudo de Viabilidade do Sistema Nacional de Monitoramento da qualidade do Ar, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil.
- FEEMA, 1990, Diretriz de Implantação do Programa de Autocontrole de Emissões para a Atmosfera – PROCON –AR .
- FEEMA,1999, Inventário de Emissões Veiculares.Departamento de Planejamento Ambiental, Divisão de Qualidade do Ar, Rio de Janeiro.
- FEEMA,2001.Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - 2000, Departamento de Planejamento Ambiental, Divisão de Qualidade do Ar.
- FEEMA,2002. Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - 2001, Departamento de Planejamento Ambiental, Divisão de Qualidade do Ar.
- FEEMA, 2003.Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - 2002, Departamento de Planejamento Ambiental, Divisão de Qualidade do Ar.

- FEEMA, 2004, *Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*.
- FEEMA/GTZ, 1995, *Qualidade do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*.
- FEEMA/GTZ, 2001, *Avaliação da Qualidade do Ar no Estado do Rio de Janeiro*, 2001.
- FIRJAN, 2002, "A Gestão Ambiental nas Industriais do Estado do Rio de Janeiro", *Súmula Ambiental*, Edição Especial (Jun.), pp. 1-12.
- GARG, A., KAPSHE, M., SHUKLA, P. R., GHOSH, D., 2001, "Large Point Sources (LPS) emissions from India: regional and sectoral analysis", *Atmospheric Environment*, v.23, pp. 213-224.
- GRAEDEL, T. E., CRUTZEN, P. J., 1997. *Atmosphere Climate and Change*. Scientific American Library, New York.
- HONKIS, M. A. J., 1977, "A Poluição do ar e a ozonoesfera". In: *Recursos Naturais, Meio Ambiente e Poluição: contribuições de um ciclo de debates*, v.2, Série *Recursos Naturais e Meio Ambiente*, IBGE, pp. 203-208.
- IPCC, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis – The Climate System: an Overview*, 2001. Second Assessment report, Cambridge University Press, UK, 2001.
- KEMP, D. D., 1994, *Global Environment Issues - A Climatological Approach*. 2 ed. USA, Routledge.
- KLIMONT, Z., AMANN, M., COFALA, J., GYARFAS, F., KLAASSEN, G., SCHOPP, W., 1994, "An Emission Inventory for the Central European Initiative 1988", *Atmospheric Environment*, v.28, n.2 (Jul), pp. 235-246.

- LA ROVERE, E.L.; CAVALCANTI,P.M.P.S.; LOPESJR.,D.Q.; KRONENBERGER,G.; MENDES,F.E.;SZWAR CFITER,L. 7 MONTEIRO,L.C.(2002).Avaliação do Programa de Inspeção e Manutenção (I/M) dos Veículos em Uso do Rio de Janeiro.Relatório de Pesquisa elaborado pelo Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente para o Ministério do meio Ambiente.COPPE/UFRJ,Rio de Janeiro.
- MAIA,L.F.P.G.,MARTINS,E.,MONCUNNIL,D.F.,FREITAS,P.R.C.,1990,"Alguns Aspectos Climatológicos do Ar Superior no Rio de Janeiro".In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de Meteorologia*.Salvador, Bahia, v.1,pp 399-404.
- MAIA,L.F.P.G., 2003,"Avaliação das Variações Climáticas no Estado do Rio de Janeiro".In: *Índice de Qualidade dos Municípios – Verde II*.Fundação CIDE, Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- MAIA,L.F.P.G.,1997a,*Estudo de Dimensionamento da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para Cidade do Rio de Janeiro.Parte I: Estudo Dinâmico-Climatológico*.Departamento de Meteorologia-UFRJ/Secretaria Municipal de Meio Ambiente/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.Rio de Janeiro.
- MAIA, L.F.P.G.,1997b,*Estudo de Dimensionamento da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para Cidade do Rio de Janeiro.Parte II: Dimensionamento Qualitativo,Quantitativo e Definição Locacional da Rede de Monitoramento*.Departamento de Meteorologia-UFRJ/Secretaria Municipal de Meio Ambiente/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.Rio de Janeiro.
- MAIA, L.F.P.G.,2000, *Relatório Final do I Seminário do Ar limpo na Bacia Aérea III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: Plano de Ação para Melhoria da Qualidade do Ar na Bacia Aérea III da RMRJ*.Banco Mundial/Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro.
- MAIA, L.F.P.G.,2001,*Urban Air Qualit Monitoring in Rio de Janeiro – Brazil by Diffusive Sampling*.In: Proceedings on International Conference Measuring Air Pollutans by Diffusive Sampling.ERLAP.Montpellier.

- MANAHAN, S.E., 2000, *Environmental Chemistry*, 7 ed, New York, CRC Press LLC.
- MANSON, H.B., HERTHER, M.A., 1982, "Emission Inventory for Stationary NOx Sources(USA)". In: Schneider, T., Grant, L., (eds), *Air Pollution by Nitrogen Oxides*, 2 ed., chapter 4, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Scientific Publishing Company.
- MEDEIROS, A.M., 2003. *Diretrizes para a Incorporação da Variável Ambiental no Planejamento da Expansão Termelétrica a Gás Natural no Brasil*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- NEIBURGER, M., EDINGER, J.G., BONNER, W.D., 1973, *Understand our Atmospheric Environment*, San Francisco, W.H. Freeman and Company.
- OLIVEIRA, J.L.F., 1997, *Poluição Atmosférica e o Transporte Rodoviário: Perspectivas de Uso do Gás Natural na Frota de Ônibus Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- PAINTER, D.E., 1974, *Air Pollution Technology*, Reston Virginia, Reston Publishing Company Inc.
- PARTER, A., 1978, *Industrial Air Pollution Handbook*, Great Britain, Mc-GrawHill Book Company.
- PUC – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2002. *Memórias do Seminário sobre Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias*.
- QUITÉRIO, S.L., ARBILLA, G., SILVA, C.R.S., ESCALEIRA, V., MAIA, L.F.P.G., 2003, "Os Municípios da Baixada Fluminense do Estado do Rio de Janeiro e seus Problemas com a Qualidade do Ar". In: *Anais da 26ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*. Poços de Calda, Minas Gerais, Maio.
- RIBEIRO, S.K.; COSTA, C.V.; DAVID, E.G.; REAL, M.V.; DÁGOSTO, M.A. 2000. *Transporte e Mudanças Climáticas*. 1ª ed. Rio de Janeiro, Mauad Ed.Ltda.

- STERN, A. C.;BOUBEL, R. W.; TURNER, D. B.;, FOX, D. L.,1984,*Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press, Inc., Orlando, Florida.
- STEWART,C.T.,1979,*Air Pollution,Human Health, and Public Policy*.1 ed,Massachusetts,Lexington Books.
- THEODORE,L.,BUONICORE,A.,1998,*Air Pollution Control Equipment*,vol 2,CRC Press Inc.
- THIELKE, J., 1977, "Dados necessários à análise da poluição do ar".In: *Recursos Naturais Meio Ambiente e Poluição:contribuição de um ciclo de debates*, v.2,IBGE,pp.171-188.
- UNECE (United Nations Economic Comission for Europe), 2004.Site Internet www.unece.org (Acessado em Dezembro/2004).
- WEBSTER,M.D.,BABIKER,M.,MAYER,M.,REILLY,J.M.,HARNISCH,J.,HYMAN,R., SAROFIM,M.C.,WANG,C.,2002," Uncertainty in emissions projections for climate model",*Atmospheric Environment*,v.36,pp.3659-3670.
- WILKINSON,P.L.,HAY,N.E.,1987,"Major Air Pollutants and Their Souces".In: HAY,N.E., *Natural Gas Applications for Air Pollution Control*, chaper 3,Lilburn,USA,The Fairmount Press,Inc.
- WORLD BANK,1995.*Environmental Guidelines for New Plants*.Washington,D.C.
- WRI (World Resources Institute),2004.Site Internet www.wri.org (Acessado em Outubro/2004).
- XAVIER, E.E., 2004, *Termeletricidade no Brasil – Proposta Metodológica para Inventário das Emissões Aéreas e sua Aplicação para o caso do CO₂*.Tese de D.Sc.,COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.