

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O MONITORAMENTO
DE GASES POLUENTES DERIVADOS DE VEÍCULOS
AUTOMOTORES EM CENTROS URBANOS**

MARCUS PORFIRIO

ORIENTADORA: PhD. YAEKO YAMASHITA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.DM – 010A/2008

BRASÍLIA / DF, AGOSTO - 2008

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O MONITORAMENTO DE GASES
POLUENTES DERIVADOS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES EM
CENTROS URBANOS

MARCUS PORFIRIO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

YAEKO YAMASHITA, PhD (UnB)
(Orientadora)

JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, Dr. (UnB)
(Examinador Interno)

DALVE SORIA, Dr. (Consultor em Transportes)
(Examinador Externo)

BRASILIA / DF, 1 DE AGOSTO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

PORFIRIO, MARCUS

Proposta metodológica para o monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores em centros urbanos / Marcus Porfirio. – Brasília: UnB, 2008.

xi, 122p., 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2008).

Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, 2008.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Yaeko Yamashita

1. Transporte e Meio Ambiente

2. Poluição do ar

3. Emissões veiculares

4. Gases Poluentes

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PORFIRIO, Marcus (2008). Proposta metodológica para o monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores em centros urbanos. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM-010A/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 122p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcus Porfirio.

TÍTULO: Proposta metodológica para o monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores em centros urbanos.

GRAU: Mestre ANO: 2008.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Marcus Porfirio

NRLO rua 02 lote 586

73100-060 – Sobradinho/DF – Brasil

DEDICATÓRIA

À minha esposa, com amor.

Aos meus filhos Victor, Arthur e Isadora, com muito carinho.

Aos meus pais, com eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio, incentivo e principalmente na certeza de vitória em todos os momentos de minha vida.

À minha esposa, Lucineide, pelo incentivo e apoio incondicional principalmente nos momentos difíceis. Sem falar na paciência nos momentos de ausência.

À professora Yaeko, pela orientação durante a realização deste trabalho, pelo incentivo e idéias - importantes para o desenvolvimento dessa dissertação -, contribuindo sempre com uma visão clara dos objetivos a serem alcançados.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós Graduação em Transportes, em especial ao Júlio que sempre me auxiliou nas questões administrativas.

Ao CEFTRU pelo apoio técnico e uso dos equipamentos para o monitoramento, em especial ao Felipe que realizou as coletas e análises laboratoriais.

Aos colegas do mestrado, em especial aos amigos Artur e Flávio que deram o pontapé inicial nesta empreitada.

À ENERGÉTICA, em especial ao Dias que sempre esteve pronto em responder claramente as dúvidas em relação ao equipamento e as técnicas utilizadas.

Aos colegas do DFTRANS pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

E finalmente, a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O MONITORAMENTO DE GASES POLUENTES DERIVADOS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES EM CENTROS URBANOS

RESUMO

O crescente uso de veículos e a inobservância às legislações ambientais têm contribuído a cada dia para a deterioração da qualidade do ar, da saúde e do meio ambiente. O aumento da emissão de gases poluentes gera a necessidade de se desenvolver políticas de mitigação que tenham como resposta minimizar os prejuízos da qualidade do ar, em busca pela preservação da saúde do homem e pelo resguardo do meio ambiente. Desta forma, a presente dissertação propõe uma metodologia de monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores que permita averiguar se os níveis de concentração desses contaminantes contidos no ar atmosférico alcançaram valores descritos, tanto na legislação ambiental quanto em órgãos internacionais de saúde, como prejudiciais à saúde humana; avaliando todos os passos - desde a definição do problema até a análise dos dados obtidos em campo. A proposta é apresentada em nove etapas, nelas contidos os principais fatores e recomendações a serem consideradas no monitoramento. Por fim, aplicou-se a metodologia em um estudo de caso em Brasília onde se pode registrar a concentração média anual de dióxido de nitrogênio igual $67,193 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor bem abaixo do padrão nacional ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e o índice da qualidade do ar IQ_{Ar} em 33,597 que classifica a situação do ar na região de estudo como “boa”, ou seja, os danos à saúde humana são mínimos, para este poluente, segundo a Organização Mundial de Saúde.

A METHODOLOGICAL PROPOSAL TO MONITOR POLLUTING GASES FROM VEHICLES IN URBAN CENTERS

ABSTRACT

The every day growing use of vehicles and the non-observance to the environmental legislations have been contributing for to deterioration of the quality of the air, of the human health and of the environment. The increase of the emission of polluting gases generates the need to develop palliative politics to minimize the damages of the quality of the air, in search for the preservation of the man's health and for the protection of the environment. Therefore, the following dissertation proposes a methodology to monitor the emission of polluting gases from vehicles that allows to ascertain if the concentration levels of those pollutants in the atmospheric air arrived at the described values, as much as in the environmental legislation as in international health organizations, as harmful to the human health; evaluating step by step from the definition of the problem to the analysis of the data obtained in field. The thesis' proposal is presented in 9 stages and contains the main factors and recommendations to be followed during monitoring. Finally, the methodology was applied in a study case in the city of Brasília where the annual medium concentration of nitrogen dioxide was registered at $67,193 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a value well below the national pattern ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and the air quality index (IQ_{Ar}) achieved 33,597 classifying the air quality in the study area as “good”, that is to say, according to the World Health Organization, the damages to the human health by this pollutant concentration are minimum.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVO.....	2
1.3 JUSTIFICATIVA.....	2
1.4 HIPÓTESE.....	4
1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	4
1.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	5
2 TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE.....	7
2.1 APRESENTAÇÃO.....	7
2.2 IMPACTOS DO TRANSPORTE NO MEIO AMBIENTE.....	7
2.2.1 Poluição Atmosférica.....	7
2.2.2 Efeitos da Contaminação do Ar.....	9
2.2.3 Impacto Causado pelos Principais Poluentes Atmosféricos (gasosos) Oriundos de Veículos Automotores.....	12
2.3 EMISSÃO VEICULAR.....	20
2.3.1 Fatores que Influenciam nas Emissões Veiculares.....	23
2.4 TRANSPORTE E DISPERSÃO DE POLUENTES GASOSOS.....	26
2.4.1 Fatores que Influenciam no Transporte e Dispersão.....	26
2.4.2 Modelos de Dispersão.....	28
2.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	29
2.5.1 Padrões de Qualidade do Ar.....	31
2.5.2 Índice de Qualidade do Ar (IQ _{Ar}).....	34
2.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	40
3 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS GASOSOS.....	41
3.1 APRESENTAÇÃO.....	41
3.2 TIPOS DE TÉCNICAS PARA MONITORAMENTO ATMOSFÉRICA.....	41
3.2.1 Amostradores do Tipo Passivo.....	42
3.2.2 Amostradores do Tipo Ativo.....	43
3.2.3 Analisadores Automáticos.....	43
3.2.4 Sensores Remotos.....	44
3.2.5 Sistemas Bioindicadores.....	44
3.3 EQUIPAMENTOS PARA AMOSTRADORES ATIVOS.....	45
3.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	49
4 EXPERIÊNCIA NACIONAL E INTERNACIONAL EM MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.....	50
4.1 APRESENTAÇÃO.....	50
4.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO DA NORUEGA.....	50
4.3 SISTEMA DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO NO REINO UNIDO (GRAN BRETANHA).....	51

4.4 SISTEMA DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO NA ZONA METROPOLITANA DA CIDADE DO MÉXICO.....	52
4.5 SISTEMA DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO NO BRASIL.....	55
4.5.1 PROCONVE.....	55
4.5.2 PRONAR.....	56
4.5.3 PROMOT.....	57
4.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	57
5 METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DE GASES POLUENTES DERIVADOS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES.....	58
5.1 APRESENTAÇÃO.....	58
5.2 METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DE GASES POLUENTES.....	58
6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA: ESTUDO DE CASO.....	75
6.1 APRESENTAÇÃO.....	75
6.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	75
6.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	94
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	96
7.1 APRESENTAÇÃO.....	96
7.2 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA E SUA APLICABILIDADE.....	96
7.3 LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA.....	97
7.4 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS.....	106
ANEXO A.....	107
ANEXO B.....	109
APÊNDICE.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.....	10
Tabela 2.2: Efeitos na saúde humana por exposição a monóxido de carbono.....	14
Tabela 2.3: Efeitos na saúde humana por exposição a dióxido de nitrogênio.....	15
Tabela 2.4: Efeitos na saúde humana por exposição a dióxido de enxofre.....	16
Tabela 2.5: Efeitos na saúde humana por exposição a ozônio.....	17
Tabela 2.6: Efeitos na saúde das crianças por exposição a chumbo.....	19
Tabela 2.7: Categoria das emissões evaporativas.....	22
Tabela 2.8: Relação de legislação ambiental relativa a emissões atmosférica.....	30
Tabela 2.9: Padrões Nacionais da qualidade do ar.....	32
Tabela 2.10: Critérios para caracterização de episódios agudos de poluição do ar.....	33
Tabela 2.11: Faixas de Concentrações limitantes ao índice da qualidade do ar.....	35
Tabela 2.12: Correlação entre índice da qualidade do ar e os principais efeitos à saúde.....	36
Tabela 2.13: Padrões da qualidade do ar para diferentes países em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm).....	37
Tabela 3.1: Métodos para amostragem e monitoramento atmosférico.....	45
Tabela 3.2: Metodologias de amostradores ativos para diferentes contaminantes gasosos.....	47
Tabela 4.1: Resumo de redes de monitoramento atmosférico na Noruega.....	51
Tabela 4.2: Resumo de redes de monitoramento atmosférico no Reino Unido.....	53
Tabela 4.3: Resumo das redes de monitoramento atmosférica na Zona Metropolitana da Cidade do México*.....	54
Tabela 5.1: Escala de representatividade espacial da poluição do ar.....	63
Tabela 5.2: Relação entre objetivos de monitoramento e escalas de representatividade.....	63
Tabela 5.3: Sugestão de estações de monitoramento da qualidade do ar em zonas urbanas de população determinada.....	66
Tabela 5.4: Critérios de localização das estações.....	68
Tabela 5.5: Técnicas fotométricas para a medição e análise de poluentes gasosos do ar.....	73
Tabela 6.1: Divisão das Regiões Administrativas do Distrito Federal.....	77
Tabela 6.2: Distância em linha reta de Brasília às Capitais dos Estados e Territórios.....	79
Tabela 6.3: Frota de veículos registrada no Distrito Federal por ano 2000 – junho / 2008.....	81
Tabela 6.4: Frota de veículos registrada no Distrito Federal por Tipo em dezembro de 2007.....	81
Tabela 6.5: Média diária de veículos automotores que trafegam nas principais vias do Distrito Federal – 2005.....	83
Tabela 6.6: Resultados das medições de dióxido de nitrogênio (NO_2).....	91
Tabela 6.7: Concentração de dióxido de nitrogênio (NO_2) em algumas cidades.....	91
Tabela 6.8: Índice da qualidade do ar (IQ_{Ar}).....	92
Tabela 0.1: Preparação dos padrões.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Diferentes tipos de emissões	21
Figura 2.2: Causa e efeito na variabilidade do padrão de condução.	25
Figura 2.3: Tipos de vias.	28
Figura 3.1: Requisitos mínimos para um amostrador do tipo Ativo.	46
Figura 3.2: Diferentes tipos de amostradores ativos portáteis para gases e vapores.	47
Figura 5.1: Etapas da proposta de metodologia.....	59
Figura 5.2: Instalação de estações de monitoramento de gases poluentes em vias de fluxo intenso sem canteiro central	69
Figura 5.3: Fixação de estações de monitoramento da qualidade do ar em vias com canteiro central	69
Figura 6.1: Mapa das Regiões Administrativas do Distrito Federal.....	78
Figura 6.2: TRIGAS	85
Figura 6.3: Estação W3 sul.....	85
Figura 6.4: Estação W3 sul (localização da árvore)	85
Figura 6.5: Vista de Satélite da Estação W3 sul.....	85
Figura 6.6: Mapa de Brasília indicando ponto de coleta.	85
Figura 6.7: Amostrador de pequeno volume – APV (TRIGÁS)	87
Figura 6.8: Diagrama do Sistema Pneumático do TRIGÁS.....	88
Figura 6.9: Concentrações mensais médias de NO ₂	92
Figura 6.10: Chuva acumulada mensal X N° de dias com chuva para o período de maio/2007 à abril/2008.....	93
Figura 6.11: Média do índice de qualidade do ar (IQ _{Ar}) mensal	94
Figura 0.1: Trem de amostragem.....	117

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O ar constitui o elemento essencial para sobrevivência humana. Cerca de quatorze mil litros de ar são inalados diariamente por um ser humano, no entanto, menos de 5 minutos de sua ausência pode lhe causar a morte; ou mesmo envenená-lo caso este ar seja veículo de grande concentração de impurezas. Por esta razão, qualquer alteração no ar afeta o homem e tudo o que o rodeia.

Esse ar tem sido, desde muito cedo, contaminado pelo homem. Essas mudanças na qualidade do ar são causadas por algumas atividades humanas que aumentam a quantidade de poluentes emitidos na atmosfera e representam um risco grave à estabilidade da biosfera em geral. Essa variação tem produzido efeito prejudicial à saúde dos seres humanos, assim como das plantas e animais, bem como degrada pinturas, metais, construções.

Uma das principais razões pelo aumento da contaminação do ar se deu com o aumento da frota de veículos motorizados nos sistemas de transportes – consequência da necessidade de locomoção gerada pelo crescimento desordenado da população mundial.

Os veículos, fonte em potencial, contaminam o ar com partículas sólidas e gases. Dentre estes últimos pode-se citar os óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e o monóxido de carbono como sendo os principais gases poluentes frutos da combustão. Grandes cidades já produzem atualmente milhares de toneladas de monóxido de carbono (CO) – proveniente em sua maioria do transporte motorizado.

O crescente uso de veículos e a inobservância às legislações ambientais têm contribuído a cada dia para a deterioração da qualidade do ar, da saúde e do meio ambiente. O aumento da emissão desses gases gera a necessidade de se desenvolver políticas de mitigação que tenham como resposta minimizar os prejuízos da qualidade do ar, em busca pela preservação da saúde do homem e pelo resguardo do meio ambiente. Com base no monitoramento é possível traçar ações de redução da contaminação do ar, de maneira estável e transparente.

Assim, o monitoramento da qualidade do ar tem como objetivo o conhecimento da contaminação do ar por gases e a comparação com os padrões de referência estabelecidos nacional e internacionalmente, de modo que possibilite a aplicação de medidas preventivas e corretivas de controle, avaliando-se a magnitude dos riscos à saúde, estabelecendo prioridades e tomando decisões apropriadas para a resolução dessas situações.

Desta forma, o problema a ser resolvido será como monitorar o nível de emissão de gases poluentes derivados de veículos automotores. Busca-se então, neste trabalho, desenvolver uma metodologia de monitoramento desses gases que permita averiguar se os níveis de concentração presente no ar atmosférico destes poluentes alcançaram valores descritos como prejudiciais à saúde humana; avaliando todos os passos desde a definição do problema até a análise dos dados obtidos em campo.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho será desenvolver uma metodologia que permita monitorar e determinar o nível de emissão de poluentes gasosos provenientes de veículos automotores.

1.3 JUSTIFICATIVA

Uma das mais graves agressões humanas à natureza está ocorrendo na atmosfera. O constante crescimento da poluição do ar tem provocado na sociedade uma preocupação em assegurar um meio cuja qualidade de vida não seja menor que antes. Ainda na década de 30, quando teve início, no país, o processo de industrialização e de intervenção do Estado na economia nacional, a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (GUSMÃO *et al.*, 1990) apresenta as primeiras preocupações com o meio ambiente. Com a expansão da industrialização intensificam-se os problemas ligados à poluição do ar e sonora nas áreas urbanas, os quais agravaram-se com o rápido processo de urbanização.

Acompanhado do processo de urbanização verifica-se, na mesma tendência, o aumento da frota de veículos no Brasil. Em 2003, a frota nacional de veículos em circulação, segundo dados do DENATRAN (2007), atingiu 36,6 milhões. Assim, junto às indústrias que poluem, o

grande número de veículos passa a ser a grande fonte de degradação da qualidade do ar. De acordo com a CETESB (2006), na medida que se aumenta o número de veículos em circulação cresce a quantidade de poluentes emitidos.

Em São Paulo, a deterioração da qualidade do ar é consequência das emissões atmosféricas de cerca de 2000 indústrias de alto potencial poluidor e de uma frota de aproximadamente 7,4 milhões de veículos, frota esta que representa 1/5 do total nacional. Conforme estimativas de 2005, essas fontes de poluição são responsáveis pelas emissões para a atmosfera, dos seguintes poluentes: 1,46 milhão de t/ano de monóxido de carbono (CO), 354 mil t/ano de hidrocarbonetos (HC), 317 mil t/ano de óxidos de nitrogênio (NO_x), 28 mil t/ano de material particulado total (MP) e 12 mil t/ano de óxidos de enxofre (SO_x). Desses totais, os veículos são responsáveis por 97% das emissões de CO, 97% de HC, 96% NO_x, 40% de MP e 42% de SO_x (CETESB, 2006).

Esses poluentes relacionados com a emissão veicular podem ser classificados em partículas - sólidas ou líquidas - ou gases. O monóxido de carbono (CO), os óxidos de enxofre (SO_x) e os óxidos de nitrogênio (NO_x) são gases e constituem os principais poluentes oriundos da queima de combustível. São extremamente tóxicos e prejudiciais à saúde humana, ao ecossistema e aos materiais. As implicações desses gases sobre a saúde humana são diversas e vão do desconforto à morte. Alguns dos efeitos causados à saúde são: irritação dos olhos, nariz e garganta; dor de cabeça, tosse, náusea, fadiga, danos ao pulmão, morte prematura e câncer; ocorridos principalmente em idosos, crianças e pessoas com doenças crônicas do pulmão e com danos no sistema nervoso central (ALMEIDA, 1999).

O monitoramento desses gases para controle da qualidade do ar requerem ferramentas apropriadas e métodos normativos; entretanto os já existentes, em geral, excluem as fontes emittentes, mensuram o total de poluentes encontrados em um determinado volume de ar e os comparam com valores referenciais. Essa informação nem sempre é o suficiente, principalmente quando há a intenção de se verificar qual das fontes poluidoras está sendo mais prejudicial ao meio ambiente.

Os métodos que mensuram a emissão de gases poluentes diretamente no escapamento não refletem o impacto real sobre a qualidade do ar e não consideram uma série de fatores também relacionados a estas particularidades.

Critérios importantes como localização geográfica dos pontos críticos e dos equipamentos utilizados, métodos de coleta e fatores de dispersão precisam ser observados para o desenvolvimento de uma metodologia de monitoramento de gases procedentes de veículos em movimento.

Verifica-se, desta forma, a necessidade de uma metodologia para identificar e monitorar os poluentes responsáveis pela queda da qualidade do ar, em busca de proteção e prevenção do meio ambiente, na tentativa de se alcançar um desenvolvimento sustentável e um ambiente limpo e saudável.

1.4 HIPÓTESE

O pressuposto utilizado neste trabalho está calcado na seguinte afirmação:

- A sistematização de um processo de monitoramento estruturado metodologicamente possibilitará a realização de mensurações do nível de emissão de poluentes gasosos provenientes dos veículos automotores em movimento.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Com o intuito de atingir os objetivos propostos e comprovar a hipótese apresentada utilizar-se-á nesta pesquisa como método de abordagem o hipotético-dedutivo, como método de procedimento será desenvolvida uma pesquisa descritiva, com observação direta através de um estudo de caso, onde se verificará a aplicabilidade da metodologia desenvolvida. Definiram-se as seguintes etapas metodológicas:

1ª Etapa – Revisão Bibliográfica.

Nesta etapa, serão revisados, por meio da literatura, os principais conceitos teóricos relacionados com o tema. Será, ainda, verificado o estado da arte no que se refere aos principais poluentes gasosos emitidos por veículos automotores, aos fatores que influenciam na emissão e à dispersão destes poluentes, à legislação ambiental (nacional e internacional); bem como aos métodos de medição e o monitoramento de concentração de gases.

2ª Etapa – Desenvolvimento da Metodologia.

Nesta fase, dar-se-á a elaboração da metodologia desenvolvida que permitirá monitorar a emissão de gases provenientes de veículos automotores. Também será descrita toda a instrumentação necessária, em especial o amostrador de pequeno volume – APV (TRIGÁS) e a análise do composto.

3ª Etapa – Aplicação da Metodologia Desenvolvida (estudo de caso).

Nesta etapa, será constatada a validade da metodologia desenvolvida; neste sentido, optou-se por desenvolver o estudo de caso no Distrito Federal. Em conformidade com a metodologia, serão definidos pontos para monitoramento e coleta de dados e, em seguida, estes serão analisados em laboratório conforme metodologia desenvolvida.

1.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Visando desenvolver a proposta de trabalho, a presente dissertação foi dividida em sete capítulos, organizados da seguinte forma:

Capítulo 1 – este capítulo trata da apresentação da dissertação, onde se encontra a definição do problema, a justificativa, objetivos, hipótese e a estrutura metodológica que será seguida.

Capítulo 2 – este capítulo apresenta o tema Transporte e Meio Ambiente, definindo o que é poluição atmosférica e os impactos causados pelos principais poluentes gasosos. Neste capítulo discorre-se, também, sobre as emissões veiculares e os fatores que influenciam no transporte e dispersão dos poluentes gasosos. Faz-se, ainda, neste capítulo um levantamento da legislação brasileira sobre o tema.

Capítulo 3 – neste capítulo é revista a base teórica dos principais métodos de investigação de poluentes atmosféricos, sendo eles: utilização de amostradores passivos, ativos, analisadores automáticos, sensores remotos e os novos sistemas bioindicadores.

Capítulo 4 – aqui são apresentados sistemas de monitoramento de alguns países: Noruega, Reino Unido e Cidade do México. Apresentam-se, também, alguns dos programas nacionais com intuito de melhorar a qualidade do ar no Brasil, sendo eles: PROCONVE, PRONAR e PROMOT.

Capítulo 5 – define todas as etapas da proposta metodológica para o monitoramento de gases oriundos de veículos automotores em centros urbanos.

Capítulo 6 – apresenta um estudo de caso realizado no Distrito Federal onde é aplicada a metodologia proposta. O poluente escolhido para monitoramento foi o dióxido de nitrogênio (NO₂).

Capítulo 7 – as principais conclusões e sugestões referentes ao trabalho são apresentadas neste capítulo, bem como a avaliação da metodologia proposta e as limitações da mesma.

2 TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE

2.1 APRESENTAÇÃO

O uso da grande maioria dos meios de transporte implica no consumo do espaço viário e de energia, bem como na produção de impactos negativos, na forma de prejuízos aos demais usuários, principalmente congestionamento, poluição e acidentes (VASCONCELLOS, 2006).

Assim, neste capítulo serão abordados os temas poluição atmosférica e os efeitos prejudiciais dos principais poluentes gasosos de origem veicular. Também apresenta-se neste capítulo as formas de emissão veicular e os principais fatores que influenciam no transporte e dispersão dos poluentes gasosos. O tema transporte e meio ambiente é alvo de diversos instrumentos legais no país sendo eles listados, também neste capítulo.

2.2 IMPACTOS DO TRANSPORTE NO MEIO AMBIENTE

Dentre os diversos efeitos negativos causados pelos transportes está a poluição atmosférica, que degrada a qualidade de vida e afeta os materiais. Tendo efeitos tanto na saúde quanto no meio ambiente. Esta seção tratará dos principais efeitos causados pela poluição atmosférica oriunda de veículos automotores.

2.2.1 Poluição Atmosférica

O ar atmosférico natural é formado por misturas gasosas que contém matérias sólidas e líquidas na forma de partículas e aerossóis em suspensão, tendo como maiores constituintes químicos ao nível do mar os gases: nitrogênio (N₂) 78,09%; oxigênio (O₂) 20,95%; argônio e gases nobres (Ar, He, Ne) 0,93%; dióxido de carbono (CO₂) 0,03% e vapor d'água em quantidades variáveis (fonte: FERGUSSON, 1982. *apud* COSTA, 2002).

No entanto, várias outras substâncias são inseridas no ar atmosférico diariamente, provenientes de diversas fontes. Estas substâncias são geralmente chamadas de poluentes e são, também, responsáveis pela poluição atmosférica.

Poluição atmosférica é definida, segundo DENATRAN (1980), como:

“ uma mudança indesejável e muitas vezes irreversível nas características físicas, químicas ou biológicas do ar atmosférico, que pode afetar perniciosamente o equilíbrio do sistema ecológico com interferência na vida do homem, dos animais e dos vegetais; deterioração dos bens culturais e de lazer; inutilização ou depreciação dos recursos naturais”.

As fontes de poluição atmosférica podem ser estacionárias (fixas) ou móveis. Dentre as fontes fixas, destacam-se as indústrias, que constituem as fontes de maior potencial poluidor desse tipo. As fontes móveis de poluição são representadas pelos trens, aviões, embarcações marinhas e veículos automotores, correspondendo estes últimos a aproximadamente 90% da poluição atmosférica das grandes metrópoles. Alcançar uma qualidade do ar sadio pressupõe o controle das fontes de emissão de poluentes atmosféricos (SILVA 1997).

Entretanto, alguns poluentes que participam de fenômenos atmosféricos são também considerados como componentes naturais da atmosfera. Isto porque quando a origem da substância é natural não se fala em poluente, uma vez que a própria natureza se adaptou a este e tem mecanismos para retorná-lo a forma original, mantendo desta forma um equilíbrio.

Segundo Monteiro (1999), as diversas origens das fontes de poluição podem ser separadas como:

- **Origem Biológica:** quando a fonte da substância são os processos ligados aos seres vivos, exceto pelo homem;
- **Origem Geoquímica:** quando a fonte da substância são fenômenos geológicos, como vulcões, géiseres ou outros;
- **Origem Atmosférica:** quando a fonte da substância são fenômenos que ocorrem da própria atmosfera, como formação de NO_x pelas descargas elétricas (raios);
- **Origem Antropogênicas:** quando a fonte é de origem humana.

Quanto a procedência, os principais poluentes do ar se classificam em primários e secundários .

- **Primários:** são os que permanecem na atmosfera, tal e como foram emitidos pela fonte. Para fins de se avaliar a qualidade do ar se consideram: o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio, os hidrocarbonetos e as partículas.
- **Secundários:** são os que estão sujeitos a mudanças químicas, são o produto da reação de duas ou mais substâncias presentes na atmosfera, podendo ser, inclusive, estas substâncias poluentes primários. Entre eles destacam-se os oxidantes fotoquímicos e alguns radicais de curta existência como o ozônio.

A Tabela 2.1 aponta as principais fontes desses poluentes e os prejuízos causados a saúde e ao meio ambiente.

2.2.2 Efeitos da Contaminação do Ar

O nível de poluição do ar é medido pela quantificação das substâncias poluentes presentes neste ar.

Conforme a Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/1990, considera-se “poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características 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 à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

As atividades humanas vêm tendo um efeito prejudicial na composição do ar. A queima de combustíveis fósseis e outras atividades industriais têm mudado sua composição devido a introdução de contaminantes, incluídos o dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (VOC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas sólidas e líquidas conhecidas como material particulado.

Tabela 2.1: Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.

POLUENTE	CARACTERÍSTICAS	FONTES PRINCIPAIS	EFEITOS GERAIS SOBRE A SAÚDE	EFEITOS GERAIS AO MEIO AMBIENTE
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua res-suspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito à saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doença pulmonar, asma e bronquite.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas inaláveis (MP ₁₀) e fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processo de combustão (indústria e veículos automotores, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ .	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite, abaixar a resistência às infecções respiratórias.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	Altos níveis de CO estão associados a prejuízo dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado, de trabalho visual.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente à atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar, exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O ₃ tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB, 2006

Ainda que todos estes contaminantes possam ser gerados por fontes naturais, as atividades humanas têm aumentado significativamente sua presença no ar que se respira. Várias classes importantes de contaminantes aéreos têm o efeito potencial de prejudicar a saúde das populações. Os veículos automotores são, em alguns casos, a fonte principal de um grande número de contaminantes.

Os contaminantes do ar podem ter efeito sobre a saúde e o bem-estar dos seres humanos. Um efeito se define como uma mudança prejudicial mensurável ou observável devido a um contaminante do ar. Um contaminante pode afetar além da saúde humana, também a das plantas e animais. Os contaminantes podem, ainda, afetar os materiais não vivos como pinturas, metais e estruturas arquitetônicas.

Segundo Joumard *et al.* (1995, *apud* Vasconcellos, 2006), o uso de veículos motorizados implica em várias formas de poluição atmosférica. Estes autores identificam seis tipos de poluição do ar relacionados aos transportes:

A poluição sensível: é aquela percebida pelas pessoas pelo odor e pela visão. Está relacionada a fontes próximas da pessoa e está associada a sensações desagradáveis.

A poluição que afeta a saúde humana: refere-se à presença dos poluentes como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio, os hidrocarbonetos, o material particulado.

O smog fotoquímico: refere-se à produção de poluentes secundários, a partir da presença na atmosfera de poluentes primários emitidos pelos veículos. Os principais poluentes secundários são o ozônio e o peróxidoacetilnitrato (PAN). Eles precisam de condições climáticas específicas (como a insolação) e se formam ao longo de algumas horas, podendo concentrar-se longe das fontes primárias de poluição.

As chuvas ácidas: a principal consequência é o prejuízo causado às florestas. Este impacto tem escala regional (algumas centenas de quilômetros) e pode ocorrer um ou mais dias após a emissão dos poluentes.

Destruição da camada de ozônio: efeito causado na camada de ozônio nos pólos do planeta.

O efeito estufa: causado principalmente pela concentração de dióxido de carbono, também conhecido como gás carbônico (CO₂) na atmosfera.

2.2.3 Impacto Causado pelos Principais Poluentes Atmosféricos (gasosos) Oriundos de Veículos Automotores

Os veículos automotores produzem além de energia, utilizada para o movimento, os seguintes produtos: calor, ruído, gases e partículas sólidas. Segundo a Mercedes-Benz (1991), os principais poluentes atmosféricos são produzidos na queima de combustível pelos motores. No momento da combustão são produzidas e lançadas no ar as seguintes substâncias: gás carbônico (CO₂), monóxido de carbono (CO), água, nitrogênio (N₂), hidrocarbonetos (H_mC_n), óxidos de nitrogênio (NO_x), carbono em forma de partículas e óxidos de enxofre (SO_x).

A contaminação do ar tem um efeito direto sobre a saúde humana. Nos casos extremos, tem causado mortes como resultado da combinação de características geográficas com fatores climáticos. Os poluentes atmosféricos liberados pelos veículos automotores têm diferentes efeitos nocivos sobre a saúde dos seres humanos. A inalação é a rota principal de exposição aos contaminantes do ar originado pelas emissões veiculares.

Existem também outras vias de exposição, como a contaminação pela água potável, a contaminação dos alimentos e a absorção pela pele. A exposição por inalação afeta diretamente os sistemas respiratório, nervoso e cardiovascular dos seres humanos, provocando deficiências pulmonares, diversas enfermidades e inclusive a morte.

Os efeitos da contaminação do ar sobre a saúde variam enormemente de pessoa para pessoa. Os mais afetados pela contaminação do ar são os idosos, lactentes, mulheres grávidas e pessoas com doenças crônicas do pulmão e do coração.

As pessoas que fazem exercícios ao ar livre também estão propensas pois respiram mais rápido e profundamente, o que permite o ingresso de mais contaminantes aos seus pulmões.

Os corredores e ciclistas que se exercitam em áreas de grande trânsito podem estar propensos a mais danos que benefícios (ROMIEU, 1995)

Nos tópicos a seguir serão mencionados alguns poluentes e seus efeitos na saúde.

2.2.3.1 Monóxido de Carbono - CO

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor e inodoro que em altas concentrações pode ser letal. Na natureza, se forma mediante a oxidação do metano, que é um gás comum produzido pela decomposição de matéria orgânica. A principal fonte antropogênica do monóxido de carbono se dá por meio da queima incompleta de combustíveis como a gasolina.

Este gás é especialmente problemático em zonas urbanas com grande número de automóveis. O volume de trânsito e o clima local influem sobre a sua concentração no ar. Os efeitos sobre a saúde dependem da concentração e duração da exposição.

O efeito a curto prazo é similar a sensação de fadiga que se experimenta em locais de grande altitude ou quando se sofre de anemia.

O monóxido de carbono nos seres humanos prejudica o suprimento de oxigênio na corrente sanguínea. Isto porque, quando unido a hemoglobina, o CO forma a carboxihemoglobina (CoHb), atraindo mais glóbulos vermelhos que oxigênio e dando lugar à escassez de oxigênio por todo o corpo.

A exposição, a longo prazo, ao monóxido de carbono pode potencializar as enfermidades do coração e do pulmão. A inalação de CO afeta a percepção e o pensamento, desacelera os reflexos, e pode causar angina, inconsciência ou a morte. O perigo é mais evidente em neonatos, anciãos e naqueles que sofrem de enfermidades crônicas.

Os efeitos à saúde humana variam conforme a concentração de CO no sangue, conforme Tabela 2.2 a seguir:

Tabela 2.2: Efeitos na saúde humana por exposição a monóxido de carbono

Concentração de CO no sangue (%)	Efeito observado
2,3 – 4,3	Diminuição na capacidade de realizar um exercício intenso em um curto espaço de tempo em indivíduos jovens saudáveis.
2,9 - 4,5	Diminuição na duração de exercício, devido a dor no peito (angina), em pacientes com enfermidades do coração. Diminuição do consumo máximo de oxigênio e tempo para realizar exercício, em indivíduos jovens saudáveis durante exercício intenso.
5,0 – 5,5	Diminuição na percepção visual e auditiva. Perda da capacidade sensorial, motora e de vigilância.
5,0 – 17,0	Diminuição no consumo máximo de oxigênio durante um exercício intenso, em indivíduos jovens saudáveis.
7,0 – 20,0	Dor de cabeça.
20,0 – 30,0	Enjôo, náusea, debilidade.
30,0	Confusão, colapso durante o exercício.
40,0	Perda de consciência e morte se a exposição continua.
50,0	Morte.

Fonte: CEPIS, 1999

2.2.3.2 Dióxido de Nitrogênio – NO₂

O NO₂, dióxido de nitrogênio, é um gás castanho-avermelhado, de cheiro forte e irritante, muito tóxico, formado pelo nitrogênio e oxigênio. É um sério agente poluidor em áreas urbanas, reagindo com resíduos orgânicos provenientes da combustão parcial da gasolina e formando nitratos (CH₃ONO₂, por exemplo) que irritam os olhos e os pulmões e que são nocivos às plantas (BARROS, 1992). É produzido nos processos de combustão a altas temperaturas: indústrias, motores veiculares, descargas elétricas e nas reações químicas atmosféricas.

Seus principais efeitos segundo USEPA (2003), são:

- **Saúde humana:** produz irritação nos pulmões e danos às células que revestem os pulmões. Não apresenta sintomas, a menos que a exposição seja a altas concentrações. Quando há uma super exposição, os sintomas surgem entre 5 e 72 horas depois da exposição, causando edema pulmonar. As crianças que vivem em casas com calefação apresentam infecções respiratórias (resfriados comuns). Alguns dos sintomas são: congestionamento nasal, dor de cabeça e dificuldade de respirar.
- **Materiais:** provoca mudanças nas cores das pinturas.
- **Vegetação:** produz queda prematura das folhas e inibe o crescimento.
- **Meio ambiente:** produz diminuição da visibilidade.

O dióxido de nitrogênio prejudica o sistema respiratório porque é capaz de penetrar as regiões mais profundas dos pulmões. De acordo com a concentração e o tempo de exposição, os efeitos nocivos à saúde humana tendem a se agravar. Conforme pode-se constatar na Tabela 2.3 a seguir:

Tabela 2.3: Efeitos na saúde humana por exposição a dióxido de nitrogênio.

Concentração (ppm)	Tempo de exposição	Efeito observado
5	14 hs	Indivíduos normais: complicação da resistência das vias aéreas e aumento da hiperatividade bronquial.
2,5	2 hs	Indivíduos normais: complicação da resistência das vias aéreas.
1	2 hs	Indivíduos normais: pequena mudança na CVF*.
0,5 – 5	3 – 60 min	Indivíduos com bronquite crônica: complicação da resistência das vias aéreas.
0,5	20 min	Indivíduos asmáticos, com 10min de exercício moderado: diminuição de FEVI**

* CVF: Capacidade vital forçada.

** FEVI: Taxa máxima de fluxo respiratório.

Fonte: CEPIS, 1999.

2.2.3.3 Dióxido de Enxofre – SO₂

Pertence a família dos gases chamada óxidos de enxofre – gases incolores que se formam ao queimar enxofre. Em combinação com a água e o oxigênio do ar, o dióxido de enxofre (SO₂)

transforma-se em ácido sulfúrico e é um dos principais formadores da chuva ácida, que pode prejudicar lagos, a vida aquática, materiais de construção e a vida silvestre.

Esse gás é formado a partir da queima de combustíveis que contêm enxofre, especialmente o óleo diesel e carvão, processos industriais e erupções vulcânicas. Sua presença no ar prejudica o sistema respiratório, especialmente de pessoas que sofrem com asma e bronquite crônica.

Tabela 2.4: Efeitos na saúde humana por exposição a dióxido de enxofre.

Concentração em 24 horas (. g/m ³)	Efeito observado
400 – 900	Possível aumento dos sintomas respiratórios (tosse, irritação da garganta e sibilos no peito) em pessoas com asma.
500 – 1700	Aumento dos sintomas respiratórios em pessoas com asma e possível agravamento das pessoas com doenças pulmonares e cardíacas.
1700 – 2300	Aumento significativo dos sintomas respiratórios em pessoas com asma e agravamento das pessoas com doenças pulmonares e cardíacas.
2300 – 2900	Sintomas respiratórios severos em pessoas com asma e risco sério de agravamento das pessoas com doenças pulmonares e cardíacas.
> 2900	Mudanças na função pulmonar e sintomas respiratórios em indivíduos saudáveis.

Fonte: CEPIS, 1999.

O dióxido de enxofre também é responsável por alguns efeitos sobre o bem estar. USEPA (2003), aponta os principais efeitos :

- **Saúde humana:** a exposição ao SO₂ causa constrição dos dutos respiratórios e ataques asmáticos. Irrita os olhos e o trato respiratório. Reduz as funções pulmonares causando a asma, a bronquite crônica e enfisema.
- **Materiais:** produz corrosão aos metais; causa deterioração aos contatos elétricos, ao papel, aos materiais têxteis, às pinturas, aos materiais de construção e aos monumentos históricos.
- **Vegetação:** produz dano direto à fotossíntese, assim como descoloração e lesões nas folhagens, ataque a líquens e musgos. O dano mais grave se apresenta na transformação de SO₂ em chuva ácida.

Os efeitos à saúde humana são apresentados na Tabela 2.4.

2.2.3.4 Ozônio – O₃

Um dos contaminantes induzidos pelo trânsito mais generalizado é o ozônio que se forma na troposfera. Constitui um dos ingredientes principais do *smog* urbano, causando efeitos nocivos em seres humanos e plantas. Comparado aos outros contaminantes, é o que mais danos causa às plantas. Ele se forma mediante a reação química do dióxido de nitrogênio (NO₂) e compostos orgânicos voláteis (COV). Por esta razão, o ozônio é considerado um contaminante secundário. Sua concentração em uma determinada região depende de muitos fatores, inclusive da concentração de NO₂ e COV na área, da intensidade da luz solar e das condições do clima.

Têm-se observado efeitos nocivos do ozônio sobre a saúde inclusive em períodos de exposição de apenas 5 minutos. Estes efeitos se tornam muitos mais avantajados em períodos maiores (por exemplo, mais de 6 horas). O ozônio pode provocar danos graves aos tecidos pulmonares e reduzir as defesas contra as bactérias e os vírus. O público de maior de risco de contaminação por ozônio são os enfermos e idosos, assim como neonatos (CEPIS, 1999)

Em períodos de curto prazo os efeitos nocivos sobre a saúde incluem, entre outros, irritação dos olhos, do nariz e da garganta, tosse, sequeidão na garganta, dores no peito, maior produção mucosa, mal-estar e náusea (ROMIEU, 1995).

Abaixo, na Tabela 2.5 têm-se os efeitos nocivos aos seres humanos:

Tabela 2.5: Efeitos na saúde humana por exposição a ozônio.

Concentração (ppm)	Tempo de Exposição	Efeito observado
0,08 – 0,15	-	Tosse e dor de cabeça.
0,12	1 – 3hs	Em indivíduos saudáveis, durante um exercício: diminuição de FEVI* e CVF** e complicação da sensibilidade das vias aéreas.
0,12	2 – 5hs	Diminuição da função pulmonar em crianças e adultos, durante exercício intenso.
0,24	1 – 3hs	Em indivíduos saudáveis, durante um exercício: complicações na frequência respiratória, diminuição da resistência das vias aéreas e diminuição da função pulmonar.

*FEVI: taxa máxima de fluxo respiratório.

**CVF: capacidade vital forçada.

Fonte: CEPIS, 1999.

Embora o ozônio cause danos a saúde humana, ele também é benéfico para os seres humanos e outros seres vivos. Ele é um componente necessário da estratosfera, a capa de ar que protege a troposfera, porque serve para proteger a terra da nociva radiação ultravioleta do sol. Entretanto, quando se encontra em concentrações altas na troposfera (a capa interior da atmosfera) é considerado um contaminante.

Assim, ainda que o ozônio seja nocivo e deva ser controlado na troposfera, é um protetor necessário na estratosfera. As novas iniciativas de controle da contaminação do ar que estão sendo realizadas, junto à redução progressiva de halocarburos e clorofluorocarbonos, evitam o esgotamento do mesmo na estratosfera.

2.2.3.5 Chumbo - Pb

O chumbo (Pb) é uma substância natural abundante no ambiente. Devido a suas propriedades físicas que lhe permitem formar-se e moldar-se facilmente, é empregado em muitos setores. É usado frequentemente para fabricar tubos de água e recipientes para alimentos, e constitui um ingrediente importante na fabricação de pinturas e gasolina.

As emissões de Pb ocorrem em motores abastecidos com gasolinas que contêm este composto orgânico na sua composição. Até 1991, a gasolina utilizada no Brasil continha aditivos antidetonantes à base de chumbo. A partir de então a adição de chumbo foi eliminada, sendo substituído pelo álcool anidro, com isso as emissões de Pb, assim como as de SO₂, são muito inferiores comparadas com valores da década de 70 (NRC, 2000). No entanto, ainda existem países que utilizam esta substância na composição da gasolina. Como um aditivo na gasolina, o chumbo desacelera o processo de combustão nos motores.

A maior parte do chumbo no ar ambiente se encontra em forma de partículas finas. O ar do ambiente também contém compostos de chumbo orgânico em forma de gases. Os veículos automotores são a fonte principal de chumbo no ar ambiente de muitos centros urbanos na América Latina, onde ainda se utiliza gasolina com aditivos de chumbo.

O chumbo é um contaminante importante do ar porque é altamente tóxico para os humanos. Sua difícil remoção do corpo faz com que o mesmo se acumule em vários órgãos e pode causar danos ao sistema nervoso central. Os adultos retêm de 20% a 60% de partículas transportadas pelo ar, e as crianças têm uma taxa de deposição pulmonar que pode ser 2,7 vezes mais alta que a dos adultos levando-se em consideração a massa corporal.

Tabela 2.6: Efeitos na saúde das crianças por exposição a chumbo.

Concentração de chumbo no sangue (. g/100ml)	Efeito observado
10	- Inibição da atividade da enzima AAL-D; - idade gestacional reduzida (exposição pré-natal); - baixo peso ao nascer (exposição pré-natal); - retardo no crescimento.
12	- Interferência no metabolismo da vitamina D.
15 – 20	- Elevação de protoporfirinas eritrocitárias; - alterações eletrofisiológicas no SNC.
20	- Alterações de conduta, déficit de atenção.
30	- Diminuição da condução nervosa periférica.
40	- Aumento das CP-U; - redução da produção de hemoglobina; - velocidade de condução nervosa periférica reduzida; - alterações na aprendizagem; - nefropatia (aminoaciduria); - sintomas gastrointestinais.
50	- Diminuição marcada do quociente de inteligência.
70	- Anemia franca; - nefropatia grave.
80	- Encefalopatia; - dano cerebral grave; - retardo mental grave.

Fonte: CEPIS, 1999.

Têm-se observado efeitos adversos da exposição ao chumbo em crianças pequenas, mulheres em idade reprodutiva e homens adultos. Os recém nascidos e as crianças pequenas são os mais vulneráveis. As exposições aos níveis de chumbo que comumente se encontram nos

meios urbanos constituem um perigo significativo para as crianças, sobretudo aos menores de 6 anos. As crianças com altos níveis de chumbo acumulado nos dentes de leite têm um quociente intelectual mais baixo, perda da memória de curta duração, dificuldades para ler, impedimentos da função visomotora, integração deficiente da percepção, indisciplina em classe e alterações no tempo de reação. Nos adultos, o chumbo no sangue está vinculado a uma maior incidência de hipertensão arterial (USEPA, 1993).

A Tabela 2.6 descreve os efeitos nocivos da exposição ao chumbo em crianças.

2.3 EMISSÃO VEICULAR

A maioria dos poluentes lançados na atmosfera são provenientes do processo de combustão ocorrida no interior dos motores dos veículos.

Os veículos automotivos utilizam motores de combustão interna, os quais ROVERE *et al* (2001, *apud* VAZ de MELO, 2004) classifica em duas amplas categorias:

- **Motores de ignição por faísca (ciclo Otto)**, nos quais uma centelha inicia o processo de combustão (usam como combustível: gasolina, álcool, e GNV, por exemplo).
- **Motores de combustão espontânea (ciclo Diesel)**, nos quais a combustão é gerada através de compressão do ar, aquecendo-o para a injeção do combustível líquido, gerando o processo de combustão (usam como combustível, por exemplo, óleo diesel).

Nos veículos leves equipados com motores a ciclo Otto, as emissões são originárias de quatro fontes principais: o carburador, o tanque de combustível, o cárter e o escapamento. As emissões provenientes do escapamento representam cerca de 80% das emissões totais do veículos (BAJAY, S.V. & BERNI, M.D., 1994).

Nos motores do ciclo Otto a reação química entre o combustível e o oxigênio contido no ar ($N_2 + O_2$) se dá no momento em que ocorre a centelha elétrica proveniente da vela de ignição.

Neste momento, o combustível formado por hidrocarbonetos e produtos indesejáveis, juntamente com o ar, é queimado dentro das câmaras de combustão.

Nos motores de combustão espontânea (ciclo diesel) há uma relação de compressão muito maior que nos motores a ciclo Otto, permitindo que o ar atinja uma temperatura suficientemente elevada para a autoignição do combustível. O motor a ciclo diesel é aproximadamente 50% mais eficiente que o motor do ciclo Otto (CHIQUETTO, 1991).

Durante a combustão, as principais fontes das emissões produzidas pelos automóveis são os gases expelidos pelo sistema de escapamento; outras emissões são os gases originados da evaporação do combustível, ilustrados na Figura 2.1. Os gases expelidos pelo escapamento têm origem na queima dos combustíveis fósseis e constituem as emissões de descarga. Já as emissões formadas pela evaporação do combustível são denominadas emissões evaporativas. As características do processo de formação das duas fontes de emissões veiculares são descritas a seguir (TRL, 1999; TRB, 1995).

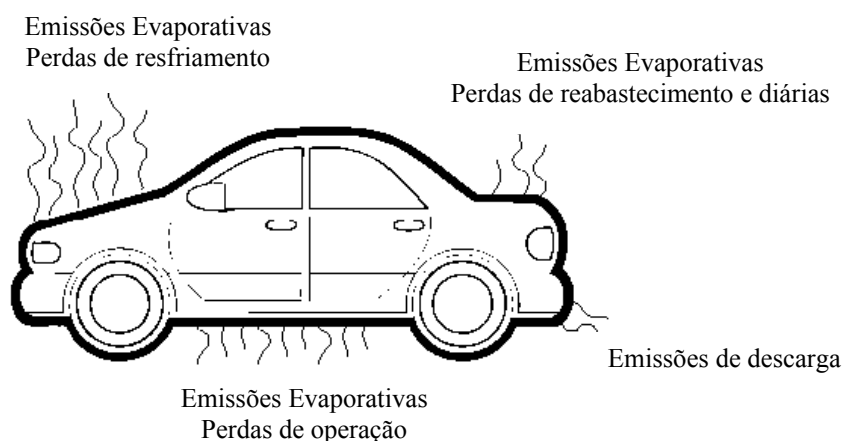


Figura 2.1: Diferentes tipos de emissões

Fonte: Adaptado de Mehta *et al.* (2003)

As emissões evaporativas são formadas a partir da evaporação do combustível. São compostas basicamente por hidrocarbonetos (HC) e tem sua formação vinculada à variação da temperatura (EPA, 1994). A Figura 2.1 mostra os diferentes tipos de emissões evaporativas.

A Tabela 2.7 apresenta os quatros tipos de emissões evaporativas em conjunto com o seu processo de origem.

Tabela 2.7: Categoria das emissões evaporativas

CATEGORIA	PROCESSO DE FORMAÇÃO
Perdas de operação	Ocorrem durante a operação do motor. Estas emissões resultam da entrada de uma quantidade de combustível no sistema de controle de emissão superior à sua capacidade.
Perdas de resfriamento	Emissões do carburador e sistema de injeção eletrônica durante o resfriamento do motor após o seu desligamento.
Emissões diárias	Emissões originárias da vaporização do combustível armazenado no tanque devido a variações de temperatura ao longo das 24 horas do dia.
Perdas de reabastecimento	Correm quando os vapores de gasolina escapam do tanque do combustível do veículo, quando o mesmo está sendo reabastecido.

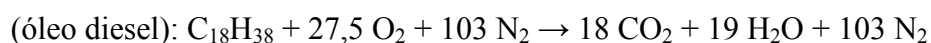
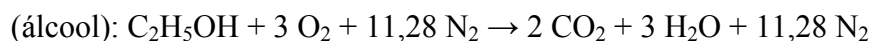
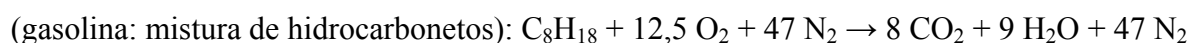
Fonte: EPA (1994)

As emissões de descarga são extremamente dependentes dos modos de operação do veículo (Heywood, 1998). Os modos de operação do veículo são classificados em: a) condições estabilizadas; b) partida a quente; c) partida a frio. Dentro de cada um desses modos o veículo pode operar em velocidade constante, parado em aceleração o desaceleração.

O modo de partida refere-se aos primeiros minutos de operação após a partida do veículo. A diferenciação entre a partida a frio e a partida a quente está na duração do período entre o desligamento do veículo e a sua repartida. Nas demais situações o veículo opera em condições estabilizadas (Mehta *et al*, 2003).

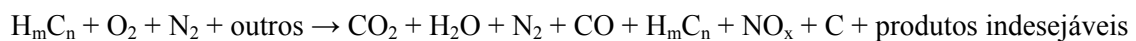
O fator responsável pela diferenciação da quantidade de poluentes emitidos entre os diferentes modos de operação é a taxa ar/combustível (Heywood, 1998). A taxa estequiométrica corresponde ao ar necessário para a completa oxidação da massa de combustível.

Em condições ideais, o resultado da reação ocorrida no interior do motor seria basicamente H₂O e CO₂. O nitrogênio (N₂) presente na atmosfera não faria parte na reação, sendo emitido da mesma forma como foi introduzido na câmara de combustão. As reações a seguir representam a situação ideal:



No entanto, em decorrência de fatores como tempo e imperfeição no contato dos reagentes, a reação de combustão ocorrida no motor não se completa, resultando em hidrocarbonetos não queimados e CO. Além disso, como o oxigênio do ar é acompanhado por nitrogênio e considerando-se a temperatura e a pressão interna da câmara de combustão, o nitrogênio também reage produzindo diversos óxidos. A existência de impurezas nos combustíveis deve ainda ser levada em conta, uma vez que estas substâncias também interferem no resultado da reação química ocorrida no interior do motor.

A reação mais provável que se ocorre no interior da câmara de combustão é apresentada a seguir.



Onde:

H_mC_n : hidrocarboneto combustível
 O_2 : oxigênio
 N_2 : nitrogênio
 Outros: impurezas
 CO_2 : gás carbônico
 H_2O : água

N_2 : nitrogênio
 CO : monóxido de carbono
 H_mC_n : hidrocarbonetos
 NO_x : óxidos de nitrogênio
 C: carbono (material particulado)
 produtos indesejáveis: enxofre (diesel) e chumbo (otto)

2.3.1 Fatores que Influenciam nas Emissões Veiculares

Diversos fatores podem influenciar nas emissões veiculares. Segundo Wenzel *et al.* (2000), a variabilidade das emissões manifesta-se de duas formas distintas: a existente nas emissões entre veículos e a que se apresenta nas emissões formadas por um mesmo veículo. A variabilidade das emissões de um veículo para outro apresenta elevada ordem de magnitude e é consequência de fatores tecnológicos, do desgaste e da manutenção dos veículos. A variabilidade das emissões de um mesmo veículo é dependente de condições ambientais, operacionais e, em alguns casos da manutenção do veículo.

2.3.1.1 Fatores Tecnológicos

Os fatores tecnológicos estão agrupados em três categorias (Barth *et al.*, 2000):

- Equipamentos de controle de emissões.

- Composição do combustível.
- Tipo de motor.

Os maiores avanços no atendimento aos limites estabelecidos pelo PROCONVE para veículos foram obtidos com a implementação de melhorias tecnológicas nos veículos brasileiros. As tecnologias para o controle das emissões incorporadas nestes últimos trinta anos incluem a recirculação dos gases de exaustão para reduzir a formação de NO_x no motor, a adoção do conversor catalítico para o tratamento dos gases de descarga, a substituição dos carburadores por injeção de combustível eletrônica e controle por computador da mistura ar – combustível e tempo de ignição.

2.3.1.2 Fatores de Desgaste e Manutenção

A idade do veículo e o tempo de uso são fatores que influenciam as emissões veiculares. Na medida que o veículo envelhece e a sua quilometragem acumulada aumenta, as emissões tendem a ser maiores se comparadas às de veículos novos. Esse acréscimo nas emissões pode ser atribuído ao desgaste natural dos componentes do motor, que prejudica a queima eficiente do combustível e à deterioração natural dos dispositivos de controle de emissão.

A falta de manutenção regular nos veículos automotores pode afetar o comportamento dos motores e equipamentos de controle de emissões e, conseqüentemente, as emissões. O nível de manutenção pode ser até mais crítico do que a idade do veículo (desde que bem mantido) ao se levar em consideração o nível de emissão. De acordo com Wenzel *et al.* (2000), a distribuição das emissões de um grande número de veículos é muito distorcida. A maioria dos veículos possui baixas emissões relativas, enquanto que uma parcela relativamente pequena de veículos com problemas de funcionamento possuem emissões extremamente elevadas.

A qualidade da manutenção dos veículos está ligada basicamente a quatro fatores essenciais, segundo Monteiro (1998):

- CAPACITAÇÃO TÉCNICA suficiente para a execução das operações de manutenção preventiva e corretiva, de acordo com as recomendações do fabricante do veículo;

- CUIDADOS COM OS SERVIÇOS, a fim de se considerar um padrão desejado, principalmente no que se refere ao atendimento das especificações estabelecidas pelo fabricante;
- PEÇAS DE REPOSIÇÃO, que são um fator importante para o reparo ou substituição, permitindo que o motor opere adequadamente sem comprometer a dirigibilidade, o consumo e sua durabilidade;
- HÁBITOS DE MANUTENÇÃO por parte dos proprietários dos veículos através das campanhas de incentivos de preços e condições de pagamento atraentes promovidas pelas montadoras e concessionárias.

2.3.1.3 Fatores Operacionais e Ambientais

O modo de condução do motorista é que determina qual velocidade e carga são aplicados ao motor do veículo. As condições de operação como velocidade de rotação e carga do motor interferem na emissão de poluentes.

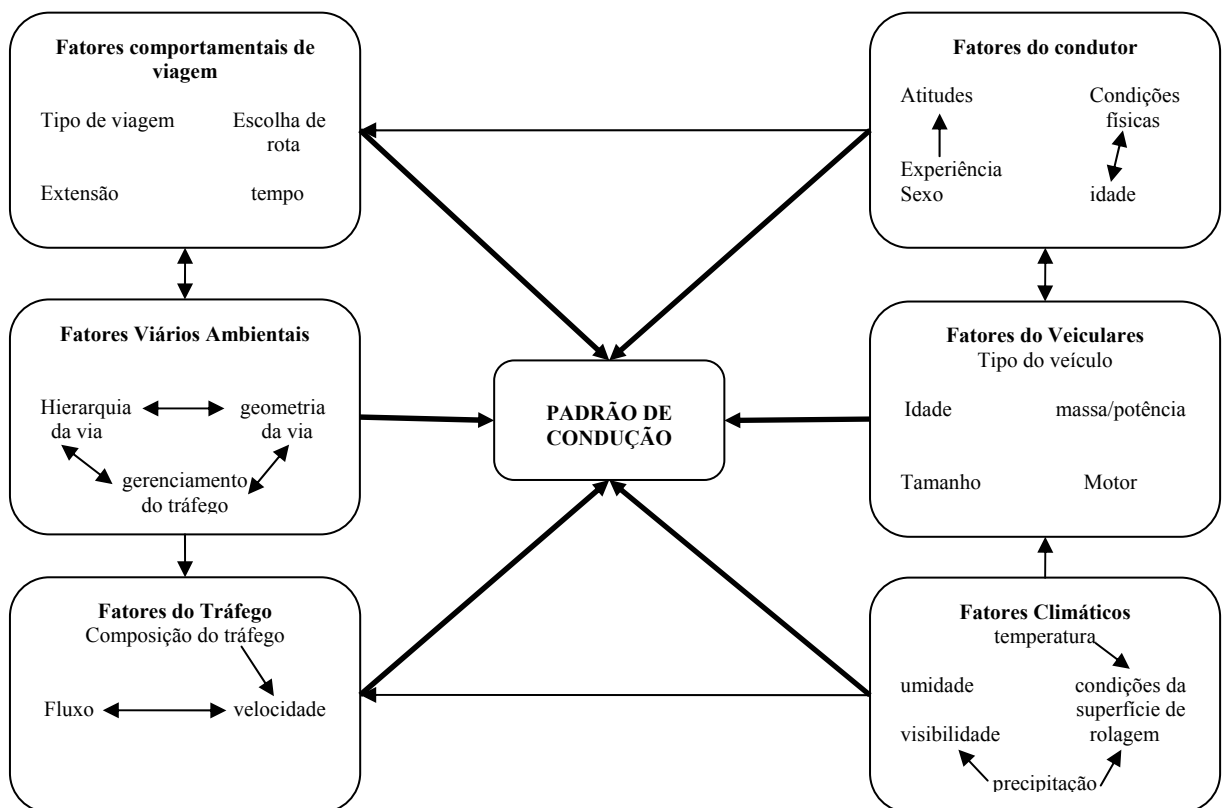


Figura 2.2: Causa e efeito na variabilidade do padrão de condução.

Fonte: Ericsson (2000)

O modo de operação em geral incorpora também algumas das variáveis características do sistema de tráfego local. A Figura 2.2 apresenta esquematicamente como vários fatores podem influenciar no padrão de condução e, conseqüentemente, nos níveis de emissão.

2.4 TRANSPORTE E DISPERSÃO DE POLUENTES GASOSOS

O transporte e dispersão dos contaminantes do ar ambiental estão influenciados por complexos fatores: as variações globais e locais do clima e as condições topográficas locais. Em uma escala mundial, as variações do clima influem sobre o movimento dos contaminantes; tomemos como exemplo a direção predominante dos ventos na América Central que é de leste para oeste e na América do Norte e na América do Sul de oeste para leste. Em nível local, os principais fatores de transporte e dispersão são o vento e a estabilidade.

Outro fator do qual a dispersão de contaminantes de uma fonte também depende é da quantidade de turbulência na atmosfera local. A turbulência pode ser criada pelo movimento horizontal e vertical da atmosfera.

2.4.1 Fatores que Influenciam no Transporte e Dispersão

O vento

O vento se dá pelo movimento horizontal do ar. A velocidade do vento pode afetar em grande medida a concentração dos poluentes em uma área. Quanto maior seja a velocidade do vento, menor será a concentração dos contaminantes. O vento dilui e dispersa rapidamente os contaminantes do ar.

A estabilidade atmosférica

O movimento vertical é conhecido como “estabilidade atmosférica”, este movimento também afeta o transporte e dispersão dos contaminantes do ar. As condições atmosféricas instáveis produzem uma mescla vertical. Geralmente, o ar mais próximo da superfície da terra é mais quente ao dia devido a absorção da energia solar. Logo, o ar mais quente e leve da superfície sobe e se troca com o ar mais frio e pesado das camadas superiores. Este movimento constante do ar cria condições instáveis e dispersa o ar contaminado.

Geralmente, quando o ar mais quente está por cima do ar mais frio se apresentam condições atmosféricas estáveis; desse modo se inibe a troca vertical. Esta condição se denomina inversão térmica. Quando há pouca troca vertical ou quando não há, os contaminantes permanecem na zona baixa e tendem a apresentar concentrações maiores, uma vez que praticamente não existe dispersão nestas condições.

A radiação solar

Influencia na formação de ozônio, já que permite a reação de vapores orgânicos com os óxidos de nitrogênio.

A precipitação

Permite um efeito benéfico, porque lava as partículas contaminantes do ar e ajuda a minimizar as partículas provenientes de atividades como a construção e alguns processos industriais.

A topografia

As grandes cidades rodeadas de uma topografia complexa como vales ou cadeias montanhosas frequentemente experimentam altas concentrações de poluentes atmosféricos. Por exemplo, as cidades de Los Angeles e México que são cercadas por montanhas sofrem com altos níveis de contaminação.

Tipos de via

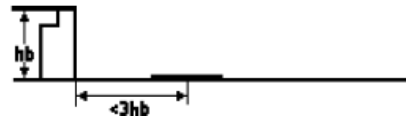
As vias podem influenciar a dispersão dos poluentes de diversas formas:

- Tipos de via: Aqui, consideram-se as construções existentes ao longo das vias, pois mesmos em vias com mesmo fluxo de veículos são verificadas concentrações diferentes de poluentes. Verifica-se um aumento nas concentrações onde há construções dos dois lados da via; já vias em campo livre estão sujeitas a uma maior dispersão dos poluentes, como podemos verificar na Figura 2.3.

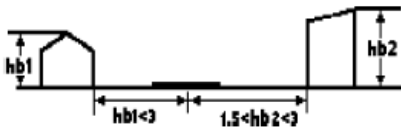
- Velocidade da via: Nas áreas urbanas, há um aumento considerável na variação da velocidade, isto se dá pelo excesso de paradas e pelas constantes acelerações. Esta variação da velocidade dos veículos influencia diretamente na quantidade de gases emitidos.
- Disposição das árvores: A existência de árvores próximas às vias interferem de maneira negativa na dispersão de poluentes gasosos, uma vez que elas diminuem a velocidade do vento - principal responsável pelo transporte e dispersão dos contaminantes.



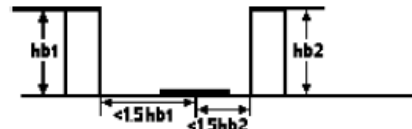
Tipo 1: Via em campo limpo



Tipo 2: via com construção em apenas um de seus lados.



Tipo 3: Via com construções de ambos os lados. As construções estão situadas a uma distância menor que três vezes a sua altura.



Tipo 4: Via com construções de ambos os lados. As construções estão situadas a uma distância menor que 1,5 vez a sua altura.



Tipo 5: Todas as vias diferente das anteriores

Figura 2.3: Tipos de vias.

Fonte: CAR INTERNATIONAL

2.4.2 Modelos de Dispersão

Os modelos de dispersão são métodos para calcular a concentração dos contaminantes em nível do solo e a diversas distâncias da fonte. Na elaboração de modelos se usam representações matemáticas dos fatores que afetam a dispersão dos contaminantes. Os

computadores podem ser extremamente úteis, pois facilitam a representação dos complexos sistemas que determinam o transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos.

Ao se construir um modelo de transporte e dispersão de poluentes gasosos é necessário o conhecimento de algumas informações específicas do ponto de emissão. Nestas informações devem se incluir: a localização do ponto de emissão, a quantidade e tipo de contaminantes emitidos, e fatores meteorológicos tais como a velocidade do vento, perfil da temperatura ambiente e pressão atmosférica.

Estes dados são utilizados como insumos do modelo computacional para prever como os contaminantes se dispersam na atmosfera. Já os níveis de concentração podem ser calculados para diversas distâncias e direções.

2.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

No Brasil, a preocupação relativa à poluição atmosférica intensificou-se no início da década de 70, período de forte crescimento econômico e industrial. Problemas de grave poluição do ar nas áreas de grandes cidades – São Paulo, Cubatão, Porto Alegre, etc. – evidenciaram a necessidade de se adotar políticas públicas sobre o tema.

Em 27 de abril de 1976, foi criada a primeira legislação mais efetiva de controle da poluição atmosférica, a Portaria nº 231 do Ministério, que visava a estabelecer padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos.

Nos anos 80, com o crescimento da frota automobilística no Brasil, o governo federal propôs o estabelecimento de um programa de controle de poluição veicular, o que foi feito por meio da resolução Conama nº 18, de 06 de maio de 1986.

Atualmente, a legislação quanto a emissões atmosféricas é muito ampla. A seguir, na Tabela 2.8, apresenta-se uma relação desta legislação:

Tabela 2.8: Relação de legislação ambiental relativa a emissões atmosférica

Portaria nº 231 de 27 de abril de 1976	Ministério do Interior estabelece os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes. Os padrões de emissão serão propostos pelos Estados.
Resolução nº 507/1976	Ministério da Justiça estabelece os limites de emissão do cárter para os novos veículos a gasolina
Portaria nº 100/1980	Ministério do Interior estabelece os limites de emissão de fumaça preta para veículos movidos a diesel.
Lei nº 6.938/1981	Juntamente com o Decreto nº 88.821/83 definem as regras gerais para políticas ambientais, para o sistema de licenciamento e cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que tem a responsabilidade de estabelecer padrões e métodos ambientais.
Resolução CONAMA 18/86	Dispõe sobre a Instituição do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE.
Resolução CONAMA 03/89	Estabelece limites para emissão de aldeídos, presentes no gás de escapamento de veículos automotores leves do ciclo Otto.
Resolução CONAMA 04/89	Dispõe sobre a emissão de hidrocarbonetos por veículos automotores leves e equipados com motor à álcool.
Resolução CONAMA 05/89	Institui o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - "PRONAR", e dá outras providências.
Resolução CONAMA 03/90	Estabelece padrões de qualidade do ar e amplia o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle.
Portaria IBAMA nº 1937/90	Disciplina o controle de emissão para veículos importados.
Lei Federal nº 8723/93	Estabelece os critérios básicos, prazos e limites de emissão para veículos novos e convertidos, define o percentual de álcool na gasolina e incentiva o planejamento dos transportes como meio de controle ambiental.
Resolução CONAMA 06/93	Estabelece a obrigatoriedade dos fabricantes e importadores de veículos disporem de procedimentos e infra-estrutura para a divulgação sistemática das especificações de regulagem e manutenção dos motores e sistemas de controles de poluição.
Resolução CONAMA 07/93	Estabelece padrões de emissão para veículos em circulação.
Resolução CONAMA 08/93	Estabelece limites máximos de emissão de poluentes para motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados.
Resolução CONAMA 16/93	Ratifica limites de emissão de poluentes por veículos automotores e determina a republicação de Resoluções do CONAMA
Resolução CONAMA 09/94	Dispõe sobre os limites para a emissão de hidrocarbonetos e aldeídos dos veículos automotores leves equipados com motor a álcool.

Resolução CONAMA 15/94	Dispõe sobre a implantação dos Programas de Inspeção e Manutenção para veículos automotores em Uso - I/M
Resolução CONAMA 14/95	Estabelece procedimentos para veículos produzidos nos países do MERCOSUL. Estabelece os limites de emissão de poluentes para veículos automotores leves por 80.000 km.
Resolução CONAMA 15/95	Estabelece nova classificação dos veículos automotores. Estabelece o controle da emissão veicular de gases, material particulado e evaporativo.
Resolução CONAMA 16/95	Estabelece critérios e limites para homologação de motores novos de veículos leves e pesados quanto ao índice de fumaça.
Resolução CONAMA 18/95	Estabelece critérios para implantação de programas de inspeção e manutenção para veículos em uso I/M.
Resolução CONAMA 226/97	Estabelece limites para emissão de fuligem de veículos e aprova especificações do óleo diesel comercial.
Resolução CONAMA 227/97	Altera redação da Resolução 07/93 sobre programas de I/M.
Resolução CONAMA 241/98	Estabelece prazos para atendimento aos limites de emissão para carros importados.
Resolução CONAMA 242/98	Estabelece limite para emissão de material particulado por veículos.
Resolução CONAMA 256/99	Estabelece prazos e diretrizes para inspeção de emissões de poluentes e ruídos veiculares.
Resolução CONAMA 251/99	Estabelece critérios, procedimentos e limites máximos de opacidade da emissão dos veículos automotores ciclo diesel.
Resolução CONAMA 267/00	Proíbe uso substâncias que destroem a camada de ozônio.

Fonte: CONAMA

2.5.1 Padrões de Qualidade do Ar

O nível de poluição do ar é medido pela quantificação das substâncias poluentes presentes neste ar. A variedade dessas substâncias que podem estar presentes na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de se definir uma classificação.

De uma forma geral, foi estabelecido um grupo de poluentes que servem como indicadores da qualidade do ar. Esses poluentes consagrados universalmente são: dióxido de enxofre, material particulado em suspensão, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos expresso como ozônio, hidrocarbonetos totais e óxidos de nitrogênio. A razão da escolha desses

parâmetros como indicadores da qualidade do ar está ligada à sua maior freqüência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente.

Um dos componentes do diagnóstico da qualidade do ar é a comparação das concentrações medidas com os padrões estabelecidos.

Os padrões de qualidade do ar são valores limite para a prevenção de efeitos ambientais na saúde, aos quais se derivam de estudos toxicológicos e epidemiológicos. Os padrões de qualidade do ar são definidos pelos governos, tomando-se como base as concentrações atuais dos contaminantes, a disponibilidade de tecnologias para seu cumprimento e as variáveis socioeconômicas e culturais do país.

Tabela 2.9: Padrões Nacionais da qualidade do ar.

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m³	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m³	MÉTODO DE MEDIÇÃO REFERÊNCIA
Partículas totais em suspensão	24 horas ¹	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA ²	80	60	
Partículas inaláveis	24 horas ¹	150	150	Separação inercial/filtração
	MAA ³	50	50	
fumaça	24 horas ¹	150	100	refletância
	MAA ³	60	40	
Dióxido de enxofre	24 horas ¹	365	100	Pararosanilina
	MAA ³	80	40	
Dióxido de nitrogênio	1 hora ¹	320	190	Quimiluminescência
	MAA ³	100	100	
Monóxido de carbono	1 hora ¹	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
		35ppm	35ppm	
		10.000	10.000	
	8 horas ¹	9ppm	9ppm	
Ozônio	1 hora ¹	160	160	Quimiluminescência

1 – Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

2 – Média geométrica anual.

3 – Média aritmética anual.

Fonte: CETESB (2006) citando Resolução do CONAMA nº 003 de 28/06/90

Por meio da Portaria Normativa IBAMA nº 348, de 14/03/90 e Resolução CONAMA nº 03/90 foram regulamentados, pela lei brasileira, os padrões nacionais de qualidade do ar juntamente com seus métodos de referência. A Tabela 2.9 apresenta esquematicamente estes valores.

Foram estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários.

Padrões primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.

Padrões secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

Com relação aos métodos de referência, a mesma Resolução orienta que podem ser adotados métodos equivalentes aos definidos, desde que aprovados pelo IBAMA.

A referida Resolução também contempla níveis limites de concentração para caracterizar ocorrência de situações críticas de poluição do ar, conforme descrito na Tabela 2.10.

Tabela 2.10: 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	65.000	261.000	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 (2006) citando Resolução do CONAMA nº 003 de 28/06/90

Com relação à ocorrência de situações críticas e os efeitos sobre a saúde podemos citar (CETESB, 2006):

- **Atenção** – Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis, com sintomas de irritação na população sadia.
- **Alerta** – Decréscimo da resistência física, e significativo agravamento dos sintomas em pessoas com enfermidades cárdio-respiratórias. Sintomas gerais na população.
- **Emergência** – Aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento de sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis.
- **Crítico** – Morte prematura de pessoas doentes e pessoas idosas. Pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua atividade normal.

2.5.2 Índice de Qualidade do Ar (IQ_{Ar})

Para a divulgação dos dados obtidos pela rede de monitoramento da qualidade do ar à população, pode ser utilizado o índice de qualidade do ar (IQ_{Ar}) baseado no índice que foi concebido pelo “PSI –*Pollutant Standard Index*”, cujo desenvolvimento se baseou em uma experiência acumulada de vários anos nos Estados Unidos e Canadá. Este índice, foi desenvolvido pela EPA, e teve como objetivo padronizar o processo de divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação. A estrutura do índice de qualidade do ar contempla os parâmetros utilizados como indicadores de qualidade do ar definidos pela resolução CONAMA nº 3/90.

O índice, um valor adimensional, é obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar. A Tabela 2.11 sintetiza as faixas de concentrações que definem a qualificação do ar por poluentes monitorados. Para efeito de divulgação, é utilizado o índice mais elevado, ou seja, a qualidade do ar de uma estação que monitora vários poluentes é determinada não pela qualificação geral destes e sim, pela pior qualificação apresentada.

Tabela 2.11: Faixas de Concentrações limitantes ao índice da qualidade do ar

Poluentes	Período considerado	Faixas de concentração					
		Boa (IQ _{Ar}) 0 - 50	Regular (IQ _{Ar}) 51 -100	Inadequada (IQ _{Ar}) 101 - 199	Má (IQ _{Ar}) 200 - 299	Péssima (IQ _{Ar}) 300 - 399	Crítica (IQ _{Ar}) > 400
Dióxido de enxofre	Valor médio diário (µg/m ³)	Até 80	81 a 365	366 a 800	801 a 1600	1601 a 2100	Acima de 2100
Partículas totais em suspensão	Valor médio diário (µg/m ³)	Até 80	81 a 240	241 a 375	376 a 625	626 a 875	Acima de 875
Partículas Inaláveis	Valor médio diário (µg/m ³)	Até 50	51 a 150	151 a 250	251 a 420	421 a 500	Acima de 500
Monóxido de carbono	Valor médio 8 horas corridas (µg/m ³)	Até 5000	5001 a 10000	10001 a 7000	17001 a 34000	34001 a 46000	Acima de 46000
Ozônio	Valor médio de 1 hora (µg/m ³)	Até 80	81 a 160	161 a 200	201 a 800	801 a 1000	Acima de 1000
Dióxido de Nitrogênio	Valor médio de 1 hora (µg/m ³)	Até 100	101 a 320	321 a 1130	1131 a 2260	2261 a 3000	Acima de 3000

Fonte: FEEMA (2006)

A qualificação do ar está associada com efeitos sobre a saúde humana. Depois de calculado o valor do índice, o ar recebe uma qualificação, cada poluente apresenta diferentes efeitos sobre a saúde, no entanto a Tabela 2.12 apresenta de forma geral os principais destes efeitos.

Para finalizar esta seção apresenta-se a Tabela 2.13 comparativa dos principais padrões de qualidade do ar que foram fixados por diferentes países e guias de recomendações de organismos internacionais. Para efeito de comparação os valores definidos pela legislação brasileira foram repetidos.

Tabela 2.12: Correlação entre índice da qualidade do ar e os principais efeitos à saúde

QUALIDADE	ÍNDICE (IQ _{Ar})	SIGNIFICADO
Boa	0 – 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 – 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 – 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 – 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
Péssima	300 – 399	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares.
Crítica	> 400	Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis. Pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua atividade normal

Fonte: FEEMA (2006)

Tabela 2.13: Padrões da qualidade do ar para diferentes países em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)

Poluente	Tempo médio	BRASIL	CHILE	COLÔMBIA	MÉXICO	PERÚ	VENEZUELA
Partículas Totais	Anual ¹	80	75	76,8	75 ²		75
Suspensas	24 horas	240	260	400	260	300	260
Partículas inaláveis	Anual ¹	50			50 ²		
	24 horas	150	150		150		
Dióxido de enxofre	Anual ²	80 (0,03)	80 (0,03)	100 (0,04)	79 (0,03)	160 (0,06)	80 (0,03)
	24 horas	365 (0,14)	365 (0,14)	400 (0,15)	341 (0,13)		365 (0,14)
	1 hora						
Dióxido de nitrogênio	Anual ²	100 (0,05)	100 (0,05)	100 (0,05)			100 (0,05)
	24 horas						
	1 hora	320	470 (0,25)		395 (0,21)		
Ozônio	8 horas	160 (0,08)	160 (0,08)	170 (0,09)	216 (0,11) ³		200 (0,10)
	1 hora						
Hidrocarbonetos	3 horas	160					160
Monóxido de carbono	Média diária						
	8 horas ²	10.000 (9)	10.000 (9)	15.000	12.595 (11)		10.000
	1 hora	40.000 (35)	40.000 (35)	50.000			35.000
Chumbo ²	Trimestral anual				1,5		2

(1) Média Geométrica; (2) Média Aritmética; (3) Não deve exceder mais de uma vez a cada três anos. Todos os demais valores horários de 24 horas, não deverão exceder mais de uma vez por ano.

Poluente	Tempo médio	Guia OMS	E.U.A. E.P.A.	E.U.A. EDO. DE California	JAPÃO	ALEMANHA	Comunidade EUROPÉIA
Partículas Totais Suspensas	Anual ¹ 24 horas		150			150 ² 300 ³	150 300 ³
Partículas inaláveis	Anual ¹ 24 horas 1 hora		15 35	30 50	100 200		20 50 ³
Dióxido de enxofre	Anual ² 24 horas 1 hora 10 min.	50 (0,02) 20 500 (0,18)	80 (0,03) 365 (0,14) 1046 (0,40)		125 (0,04) (0,1)	140 400 ³	125 350 ³
Dióxido de nitrogênio	Anual ³ 24 horas 1 hora	40 (0,02) 200 (0,11)	100 (0,05)	(0,25)	(0,04 – 0,06)	80 200 ³	40 200 ³
Ozônio	8 horas 1 hora	100	157 (0,08) 235 (0,12)	(0,10)	118 (0,06)	180 – 360 ⁴	
Hidrocarbonetos	3 horas		160				
Monóxido de carbono	Média diária 8 horas ³ 1 hora 30 min. 15 min.	10.000 (10) 30.000 (25) 60.000 (50) 100.000 (90)	10.000 40.000	10.000 22.900	10.000 (10) (20)	10.000 30.000 ³	

Poluente	Tempo médio	Guia OMS	E.U.A. E.P.A.	E.U.A. EDO. DE California	JAPÃO	ALEMANHA	Comunidade EUROPÉIA
Chumbo ²	Anual trimestral		1,5			2	0,5
Cloro	Anual 30 min.					100 300 ³	

NOTA: Dados os possíveis efeitos na saúde mesmo em concentrações muito baixas de partículas a OMS não recomenda nenhum valor. Todos os valores horários e de 24 horas não deverão ser excedidos mais de uma vez por ano. (1) Média Geométrica; (2) Média Aritmética; (3) 98 Percentil; (4) Valores de Alerta.

2.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS

- Segundo trabalhos científicos, os níveis de poluição do ar têm se intensificado nas últimas décadas, causando prejuízos ao bem-estar, à saúde do homem e ao equilíbrio do meio ambiente.
- Os veículos automotores são responsáveis pela emissão de diversas substâncias tóxicas (poluentes atmosféricos), produzindo grande quantidade de poluição atmosférica, e em alguns casos sendo o maior responsável pela contaminação do ar.
- A degradação da qualidade do ar e seus efeitos nocivos têm exigido das entidades governamentais a criação de legislações mais exigentes de controle e fiscalização para redução de emissões de poluentes, estimulando o desenvolvimento tecnológico no setor automotivo para adequação e viabilização das regulamentações estabelecidas.
- A quantificação dos poluentes, bem como a identificação dos fatores que influenciam na dispersão destes são necessárias para avaliação da qualidade do ar e para a racionalização de medidas que minimizem as emissões veiculares e, por conseqüência, os danos ao homem e ao meio.

3 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS GASOSOS

3.1 APRESENTAÇÃO

A medição dos poluentes desempenha variadas funções. Uma delas é verificar quantitativamente se os padrões da qualidade do ar estão sendo superados e em que grau. A medição é, também, necessária para determinar se algumas mudanças nocivas nos níveis de contaminação estão ocorrendo como resultado das atividades do homem. Serve, ainda, para determinar o cumprimento das normas de qualidade do ar e para diagnosticar as condições de uma área antes de se construir uma nova fonte de contaminação.

Quanto mais se aproxima a medição dos valores em tempo real, mais caros serão os equipamentos necessários (UNEP WHO, 1994), devido a maior sensibilidade requerida e a quantidade de dados que serão armazenados e processados; e diferentes serão as metodologias utilizadas para quantificar esses dados.

A escolha de uma técnica específica de coleta depende de um número de fatores, sendo os mais importantes as características químicas do poluente e seu estado físico – sólido, líquido ou gasoso. Os métodos de referência foram desenvolvidos para determinar a concentração de um contaminante em uma amostra. A concentração se expressa em termos de massa por unidade de volume, usualmente em microgramas por metro cúbico.

Assim, serão neste capítulo apresentadas diferentes técnicas de coleta de amostras e os equipamentos utilizados em amostradores ativos, de acordo com suas vantagens em relação a custos de operação e manutenção.

3.2 TIPOS DE TÉCNICAS PARA MONITORAMENTO ATMOSFÉRICA

Para investigar a presença de uma substância contaminante na atmosfera existem variadas técnicas de monitoramento do ar, cada uma com suas vantagens e desvantagens em função de seus custos de instalação e manutenção, de sua operacionalidade, quantidade de recursos

humanos e grau de capacitação necessário para o mesmo (UNEP WHO, 1994). Os sistemas de monitoramento do ar utilizados na atualidade estão divididos em cinco tipos genéricos, são eles:

- Amostradores do tipo passivo;
- Amostradores do tipo ativo;
- Analisadores automáticos;
- Sensores remotos
- Bioindicadores.

3.2.1 Amostradores do Tipo Passivo

Estes dispositivos, geralmente com forma de tubo ou disco, coletam um contaminante específico por meio de sua absorção em um substrato químico selecionado. Após sua exposição por um período de tempo apropriado, que varia desde algumas horas até um mês, a amostra regressa ao laboratório, onde se realiza uma análise quantitativamente do poluente.

As principais vantagens do amostrador passivo estão em sua simplicidade e baixo custo. Devido a esta particularidade, pode-se instalar um número significativo de amostradores e obter-se uma importante informação sobre a distribuição espacial e geográfica do poluente. No entanto, o tempo é um limitador desta técnica. A informação sobre as concentrações dos poluentes está ligada ao tempo de coleta e neste caso o período normalmente é longo (até um mês). Esta técnica não é apropriada para informar picos de concentrações horárias ou diárias e sim apenas concentrações médias, semanais ou mensais, dos poluentes (UNEP WHO, 1994).

Devido a sua simplicidade e baixo custo, as técnicas de amostrador passivo são adequadas para muitas aplicações, sozinhas ou em combinação com outros sistemas de monitoramento. Existem várias técnicas de amostradores passivos disponíveis para os principais poluentes urbanos, entre eles os NO₂, SO₂, NH₃, VOC's, e O₃ (UNEP WHO, 1994).

Entre os amostradores passivos devem-se diferenciar os que especificamente são utilizados em pontos fixos de coleta, para monitorar a qualidade do ar, especialmente para estudos de ampla cobertura espacial; e os de uso pessoal, onde uma pessoa pode portá-lo por um período de tempo. Este último utilizado principalmente para estudos epidemiológicos; onde se pode,

por exemplo, determinar a exposição pessoal durante uma jornada de trabalho de 8 horas a um determinado contaminante.

3.2.2 Amostradores do Tipo Ativo

Os sistemas ativos de monitoramento baseiam-se na passagem do ar, conduzido mediante uma bomba de aspiração, por meio de um reativo químico específico ou de um meio físico de absorção. A amostra assim obtida é levada ao laboratório onde são realizadas análises quantitativas.

O volume de ar que se utiliza para a amostra é superior ao dos sistemas passivos, por esta razão a sensibilidade do método é maior, podendo-se obter médias horárias ou diárias de concentração do poluente. Estes sistemas são mais complexos e têm custos de instalação, manutenção e operação mais elevados em relação ao sistema passivo (UNEP WHO, 1994). Os amostradores ativos mais utilizados atualmente são os borbulhadores acidimétricos, os métodos de filtração para PST e os métodos gravimétricos de altos volumes (High Vol.)

3.2.3 Analisadores Automáticos

Os sistemas automáticos de análises de poluentes do ar utilizam alguma propriedade física ou química do agente contaminante que pode ser detectado e quantificado em forma contínua, geralmente por métodos óptico-eletrônicos (UNEP WHO, 1994). Apesar das vantagens dos amostradores passivos e ativos com relação a custos, uma vez que os sistemas automáticos têm custos extremamente altos, estes são necessários quando necessitam medições em curtos períodos de tempo (menos de 1 hora). Isto acontece com poluentes de difícil absorção química.

Estes equipamentos tendem a ser mais suscetível a problemas técnicos, se comparados aos amostradores passivos e ativos, quando não estão envolvidos em programas de manutenção adequados e com pessoal técnico qualificado. Além disso, há a necessidade de métodos mais sofisticados de asseguramento do controle de qualidade. Os sistemas automáticos produzem

grande quantidade de dados que usualmente necessitam de sistemas telemétricos para sua recompilação e computadores para processamento e análises.

3.2.4 Sensores Remotos

Os sistemas de sensores remotos fazem uma medição integrada de multicomponentes. Podem cobrir ao longo de um espaço específico (normalmente superior a 100 m) em contraste com os equipamentos de análises automático que realizam medições de apenas um poluente específico em um determinado ponto. No entanto os custos relacionados a estes equipamentos é muito superior aos demais métodos (UNEP WHO, 1994).

Os sistemas de sensores remotos por vezes são montados em aviões ou em satélites, cujos métodos incluem o uso de correlações espectrométricas, o reflexo da luz solar nas partículas dos aerossóis, absorção infravermelha e emissão espectroscópica, laser e indução infravermelha fluorescente, e aplicação de técnicas astronômicas. Do ponto de vista econômico, são instrumentos muito caros e extremamente complexos, e apresentam dificuldades com a validação de seus dados, níveis de confiança e calibração. Requerendo um grande esforço especializado e cuidadoso controle de qualidade para produzir dados confiáveis (UNEP WHO, 1994).

3.2.5 Sistemas Bioindicadores

Atualmente, tem-se mostrado grande interesse no uso de bioindicadores para estimar alguns fatores ambientais, entre eles inclui-se a qualidade do ar. O termo biomonitoração - ao qual implica geralmente o uso de plantas para monitorar o ar - utiliza-se de diferentes métodos: uso da superfície das plantas como receptoras de contaminantes, uso da capacidade da planta de acumular contaminantes ou seus metabólitos, estimação dos efeitos dos contaminantes no metabolismo ou na informação genética das plantas e estimação dos efeitos dos contaminantes na aparência das plantas.

Apesar do desenvolvimento de guias sobre as metodologias utilizadas em bioindicadores, todavia ainda existem problemas nos resultados no que se refere a padronização destas

técnicas. Alguns dos problemas são inerentes aos procedimentos e outros se devem a limitações aos tipos de plantas que podem ser empregadas em diferentes regiões (UNEP WHO, 1994).

O Tabela 3.1 mostra uma breve sistematização das técnicas de amostragem utilizadas no monitoramento atmosférica.

Tabela 3.1: Métodos para amostragem e monitoramento atmosférico

METODOLOGIA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Amostradores Passivos	Custo muito baixo; Muito simples; Útil para estudo de base	Não pode ser usado para alguns contaminantes. Em geral só fornecem médias semanais e mensais. Requerem análises de laboratório.
Amostradores ativos	Baixo custo; Fácil de operar; Confiáveis em: operação e funcionamento; Utilizado para montar base de dados.	Fornecem concentrações de pico ou de alerta. Trabalho intensivo. Requerem análises de laboratório.
Monitores automáticos	Auto funcionamento; Dados horários; Informação on line e baixos custo diretos.	Complexo. Requerem técnicos qualificados. Altos custos periódicos de operação.
Sensores remotos	Proporcionam padrões de resolução de dados; Úteis perto de fontes e para medições verticais na atmosfera; medições de multicomponentes.	Muito complexo e de alto custo. Difíceis de operar, calibrar e validar. Não são sempre comparáveis com os analisadores convencionais.
Bioindicadores	Baratos; Úteis para identificar a presença de alguns contaminantes.	Problemas com a padronização de suas metodologias e outros inerentes aos procedimentos. Alguns requerem análises de laboratório.

3.3 EQUIPAMENTOS PARA AMOSTRADORES ATIVOS

Levando-se em consideração a Tabela 3.1 apresentaremos apenas os equipamentos para amostradores ativos por sua versatilidade (podem monitorar um grande número de poluentes gasosos), baixo custo, fácil operação e confiáveis tanto em operação quanto em funcionamento.

Os equipamentos utilizados em amostradores ativos compreendem um sistema de bombeamento que force uma corrente de ar, com fluxo conhecido e controlado, a passar por

um sistema de coleta que pode conter um meio físico ou químico, para que esta seja coletada ou para separar da corrente de ar os contaminantes que desejam ser medidos. As coletas podem ser realizadas succionando o ar e aprisionando-o em bolsas de plástico, em depósitos de vidro ou de metal, ou por meio de absorção, adsorção, filtração, difusão, reação ou pela combinação de qualquer destes processos. As amostras coletadas deverão ser em seguida analisadas em laboratório para determinar a concentração do contaminante de interesse. Os requisitos mínimos de um equipamento comum utilizado para amostra ativa são os encontrados na Figura 3.1:

- Trem de amostra que conste de:
 - ✓ Entrada, mangueiras e tubos;
 - ✓ Sistemas de medição de fluxo ou volume de ar;
 - ✓ Bomba de vácuo;
- Sistema de coleta da amostra:
 - ✓ Instrumentos de coleta;
 - ✓ Meio de coleta.

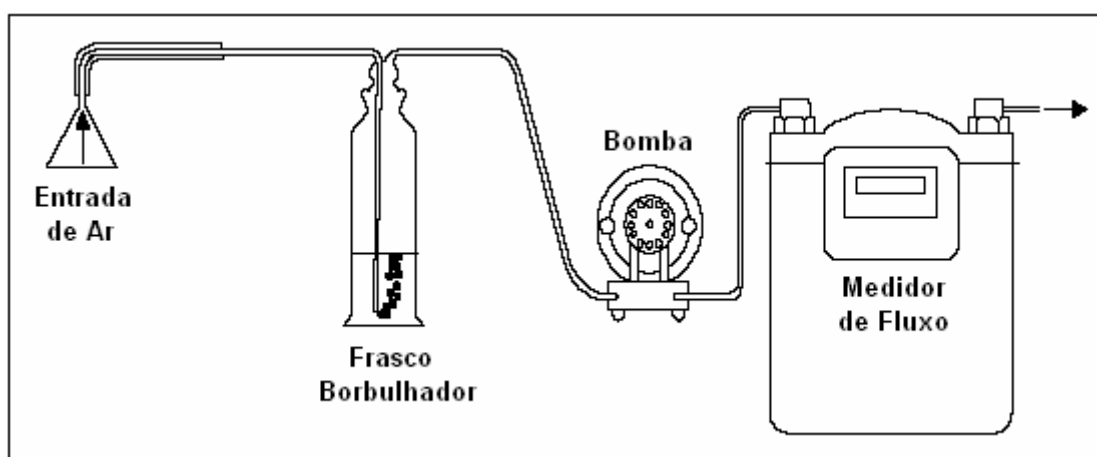


Figura 3.1: Requisitos mínimos para um amostrador do tipo Ativo.

Com a finalidade de medir exposições pessoais em ambientes de trabalho e estudos epidemiológicos, foram desenvolvidos equipamentos para medir contaminantes atmosféricos que utilizam bombas portáteis, acionadas por baterias e instrumentos de coleta com os mesmos métodos de amostragem das estações fixas, porém de um tamanho adequado para que se possa pendurar na roupa de uma pessoa. Entre estes instrumentos têm-se:

- Bolsas de plástico.
- Borbulhadores.
- Tubos indicadores, com absorventes como carvão e sílica gel.

A maioria destes instrumentos tem sido desenhados para medir exposições temporárias e são do tipo dosímetros, ou seja, acumulam o contaminante em um período de exposição e dão uma medição integrada. Na Figura 3.2 são apresentados os diferentes tipos de amostradores portáteis ativos para gases e vapores.

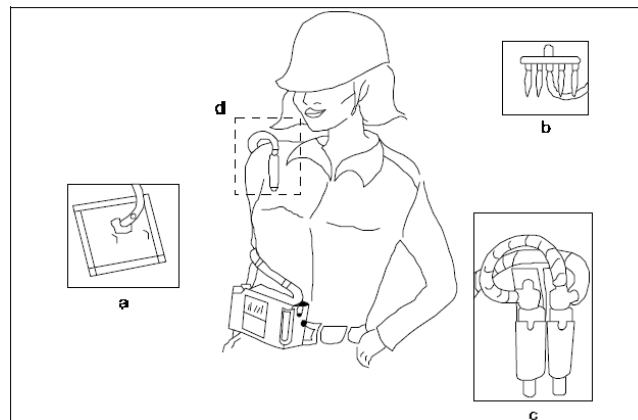


Figura 3.2: Diferentes tipos de amostradores ativos portáteis para gases e vapores.
Fonte: Catálogo SKC, 1993

Na Figura 3.2 observa-se a bolsa de plástico (a), um amostrador de tubos absorventes ou indicadores múltiplos (b) e borbulhadores (c), assim como no ombro um tubo indicador simples (d).

Tabela 3.2: Metodologias de amostradores ativos para diferentes contaminantes gasosos

CONTAMINANTE	METODOLOGIA	ANÁLISE	COMENTÁRIOS
NO ₂	Método de Griess-Saltzman. (Limite de detecção 10-40 ppb)	Espectrofotometria ou colorimetria.	Não é recomendável para períodos de amostragem igual ou maior a 24h.
	Método do arsenito de sódio	Extração com uma base diluída e determinação fotométrica da concentração.	Solução mais estável que a do método de Saltzman.
	Método TGS – ANSA*.	Espectrofotometria.	Método onde a solução absorvente é mais estável que os dois anteriores. Para uma concentração de 0,05ppm não sofre interferência de amônia, monóxido de carbono, formaldeído, óxido nítrico, ozônio e dióxido de enxofre.

CONTAMINANTE	METODOLOGIA	ANÁLISE	COMENTÁRIOS
O ₃	Método NBKI** nível de detecção: (5 ppb a > 1 ppm)	Espectrofotometria.	Recomendável para uma análise rápida, já que o complexo de iodo se deterioriza com o tempo, apresenta diferenças de até ±20% da concentração real. Sofre interferências potenciais de NO ₂ e SO ₂ . Pode ser removido o SO ₂ passando o ar coletado por um filtro de fibra de vidro impregnado com trióxido de cromo.
HC	Coleta em “canister” de aço inoxidável.	Cromatografia de gases.	Não é o método de referência, entretanto este é o procedimento mais aceitado atualmente.
CO	Coleta em bolsa de plástico.	Monitor de CO.	Não existe disponível um amostrador ativo específico. Porém é possível coletar uma amostra durante um determinado tempo e levá-la para análise, uma vez que nestas condições o CO ₂ é inerte.
SO ₂	Método acidimétrico.	Titulação	Método não específico para SO ₂ , mede a acidez total. A interferência de amônia produz baixos resultados.
	Método de cromatografia de íons.	Cromatografia de íons.	Específico para íons sulfato.
	Método da pararrosanilina ou de TCM***. (nível de detecção 10 ppb a 0,4 ppm)	Espectrofotometria ou colorimetria.	Requer manuseio e estoque especial dos compostos tóxicos de mercúrio.
	Método de Thorin.	Método de Thorin com espectrofotometria ou titulação.	Remover fosfato para evitar interferências, por meio de precipitação ou troca iônica.
	Método de filtro impregnado.	Extração, método de Thorin ou cromatografia de íons, para análises.	Procedimentos analíticos complexos como no método de Thorin.

* TGS: trietanolamina, 0-metoxifenol (guaiacol) e metabisulfeto de sódio; ANSA: ácido 8-anilino-1-naftalenesulfônico.

** NBKI: solução tampão neutra de iodeto de potássio.

*** TCM: Tetracloromercurato

Por serem confiáveis em operação e funcionamento, os amostradores ativos podem ser utilizados para medição de diferentes espécies de poluentes gasosos de acordo com metodologia específica. Existem diversos métodos ativos, principalmente de absorção; entretanto, na Tabela 3.2 serão enumerados as mais utilizadas e reconhecidas dos principais contaminantes atmosféricos.

3.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS

- O uso de equipamentos de monitoramento e métodos apropriados permitem medir a concentração de poluentes e determinar se as metas estabelecidas pela legislação estão sendo cumpridas.
- Existe uma grande quantidade de métodos para o monitoramento de qualidade do ar. Os três principais métodos são: amostradores do tipo passivo, amostradores do tipo ativo e analisadores automáticos. Há, ainda, outros métodos que utilizam sensores remotos e sistemas bioindicadores. A escolha por um destes se dá em função dos objetivos pretendidos e principalmente pelos recursos disponíveis.

4 EXPERIÊNCIA NACIONAL E INTERNACIONAL EM MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

4.1 APRESENTAÇÃO

A contaminação atmosférica apresenta-se principalmente nas cidades, o que torna necessário a implementação de ações para melhoria da qualidade desse ar e a necessidade de proteção à saúde de seus habitantes. A medição da qualidade do ar, a determinação de suas causas e a avaliação de seus efeitos e dos problemas fundamentais que se apresentam devem constituir o primeiro passo para só então serem desenvolvidos planos de mitigação.

Neste capítulo apresentam-se alguns exemplos específicos de diferentes estudos de qualidade do ar na Noruega, Reino Unido, Cidade do México e Brasil, os quais utilizam tanto equipamentos de monitoramento ativos, como automáticos, e, atualmente, também estão aplicando o uso de equipamentos passivos por sua fácil instalação, manejo e baixo custo.

4.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO DA NORUEGA

O propósito geral das redes de monitoramento nas cidades norueguesas é verificar as concentrações de contaminantes atmosféricos para monitorar as tendências destas concentrações no ar, medir os excedentes com respeito aos padrões de qualidade recomendados pela legislação norueguesa e avaliar os efeitos das medidas aplicadas pelas autoridades. Utilizam-se para este fim amostradores dos seguintes tipos: ativo e automático.

Existem neste país três redes nacionais operadas pelo Instituto Norueguês para a Investigação do Ar (NILU). São elas: o Programa de Monitoramento de Longo Alcance de Transporte do Ar Contaminado e Precipitação, o Programa de Monitoramento de Danos dos Bosques e o Programa de Monitoramento de Ozônio Troposférico. As redes de monitoramento locais situadas nas seis principais cidades são de responsabilidade conjunta de cada uma das cidades e da Autoridade de Controle de Contaminação do Governo Norueguês (SFT). Na Tabela 4.1

é apresentado um resumo do tipo de rede, os parâmetros atmosféricos medidos e tipos de localização de monitoramento.

Tabela 4.1: Resumo de redes de monitoramento atmosférico na Noruega.

REDE	TRANSPORTE NO AR	BOSQUE	OZÔNIO	URBANA*
ESCALA	NACIONAL	NACIONAL	NACIONAL	LOCAL
Número de locais de amostragem	7	5	11	6
Contaminante / Número de pontos de coleta	SO ₂ / 7	SO ₂ / 5	O ₃ / 11	SO ₂ / 1
	SO ₄ / 7	SO ₄ / 5		NO / 6
	NO ₂ / 7	NO ₂ / 5		NO ₂ / 6
	NO ₃ / 7	NO ₃ / 5		O ₃ / 1
	NH ₃ / 7	NH ₃ / 5		PM ₂₅ / 5
				PM ₁₀ / 6
				Benzeno / 1
			Tolueno / 1	
Tipo do amostrador de cada rede	Amostrador ativo	Amostrador ativo	Amostrador automático	Ativo / automático
Locais de monitoramento por tipo:				
Urbano				6
Suburbano			1	
Rural	7		10	

*Urbano: Oslo, Bergen, Trondheim, Drammen, Skien, Porsgrunn.

Fonte: Mücke H.G.

4.3 SISTEMA DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO NO REINO UNIDO (GRAN BRETANHA)

O sistema de monitoramento atmosférico do Reino Unido se baseia em redes de monitoração da qualidade do ar nacionais. Estas são as seguintes:

- Rede de monitoramento de SO₂ - Está operando há 30 anos e em 1981 foi reorganizada, reduzindo seu número de pontos de coleta.
- Rede de monitoramento Urbana fase I - Fundada em 1992 com o objetivo de medir concentrações de fundo de qualidade do ar urbano, nas áreas mais contaminadas, para alertar a população. A este programa tem-se afiliado um grande número de autoridades locais.
- Rede de monitoramento Urbana fase II - A segunda fase desta rede tem como objetivo a medição contínua de hidrocarbonetos no ar urbano.

- Rede de monitoramento Oficial (por ordem da Comissão das Comunidades Europeias) - inclui um grande número de estações de monitoramento, as quais têm sido gerenciadas pelo Departamento de Meio Ambiente desde 1972, e estações estabelecidas para determinar a conformidade com a legislação da Comunidade Europeia a respeito de NO₂ e SO₂.
- Rede de monitoramento Rural - O objetivo é prover informação sobre a contaminação fotoquímica. Existem também redes rurais para estimar o aporte de depósitos de SO₂ nos ecossistemas.
- Rede de monitoramento com amostradores passivos do tipo tubos de difusão – Foi instalada com a finalidade de medir dióxido de nitrogênio durante o período em que se introduziu os conversores catalíticos nos carros.
- Rede de monitoramento de microcontaminantes orgânicos tóxicos - O objetivo desta rede é monitorar estes poluentes na atmosfera e seus depósitos em locais selecionados pelo país.
- Redes de monitoramento locais de multielementos - Estas funcionam desde 1974 e provêem concentrações a longo prazo de chumbo e outros elementos metálicos.
- Rede de depósitos ácidos - Mede a composição da chuva.

Apresenta-se a seguir na Tabela 4.2 um resumo destas redes, os parâmetros atmosféricos que são medidos e os tipos de locais de monitoramento.

4.4 SISTEMA DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO NA ZONA METROPOLITANA DA CIDADE DO MÉXICO

O sistema de monitoramento atmosférico na zona Metropolitana da cidade do México teve início em 1950, tornando-se mais sistemático nos anos sessenta. Em 1966, com o apoio da Organização Pan-americana de Saúde (OPS), foram instaladas 14 estações de monitoramento para medir fumaça, partículas sólidas e dióxido de enxofre. Nos anos setenta, o governo mexicano e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) desenvolveram um programa para estabelecer a qualidade do ar em diversas cidades, instalando uma rede manual de 22 estações de monitoramento na cidade do México, que vem modificando-se através do tempo.

Tabela 4.2: Resumo de redes de monitoramento atmosférico no Reino Unido

REDE	OFICIAL	URBANA I	URBANA II	RURAL	OUTRAS*
ESCALA	Nacional	Nacional	Nacional	Nacional	
Número de locais de monitoramento	11	14	7	17	1839
Contaminante / número de pontos de coleta	SO ₂ / 5	SO ₂ / 14	VOC _s / 7	SO ₂ / 3	SO ₂ / 300
	NO / 8	NO / 14		NO / 3	Fumaça N. / 300
	NO ₂ / 8	NO ₂ / 14		NO ₂ / 3	NO ₂ / 1200
	CO / 6	CO / 14		O ₃ / 17	Dioxinas / 7
	O ₃ / 1	O ₃ / 14			PAH / 7
		PM ₁₀ / 14			PCB / 7
Tipo de amostradores de cada rede	automático	automático	automático	Automático	Chuva ácida / 32 Amostradores ativo e passivos
Locais de monitoramento por tipo:					
	Urbano	8	14	7	Em maioria
	Suburbano	3			
	Rural			17	

*Outras: outras redes: Fumaça/SO₂, estudo de NO₂ com tubos de difusão, microcontaminantes orgânicos tóxicos, depósitos ácidos.

Fonte: Mücke H.G.

O atual sistema de monitoramento atmosférico da Zona Metropolitana da cidade do México teve seu início em 1984 e foi projetado com base no critério de vigilância da qualidade do ar, observando-se o comportamento aerométrico dos contaminantes atmosféricos. Este sistema permite qualificar a qualidade do ar por parcelas específicas, que se definem territorialmente pelas mesmas condições meteorológicas.

O sistema é integrado por três subsistemas - a Rede Automática de Monitoramento Atmosférico (RAMA), a Rede Manual de Monitoramento Atmosférico e a Rede Meteorológica. Ele é, ainda, complementando com unidades de apoio: o programa de asseguramento da qualidade, e sistemas de informação geográfica e de inventário de emissões. Tanto a rede automática como a manual foram projetadas conforme os critérios estabelecidos pela OMS e pelas Agências de Proteção Ambiental Norteamericana e Alemã. Os parâmetros atmosféricos que são medidos por estas redes, o número de estações e tipos de estação são apresentados na Tabela 4.3.

A RAMA está integrada por 32 estações de monitoramento, distribuídas no Distrito Federal (21) e nos municípios conurbados do Estado do México (11). Esta rede conta com monitores

automáticos que analisam os seguintes parâmetros ambientais: ozônio, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e partículas suspensas. Em outra estação mede-se benzeno, tolueno e formaldeídos.

Esta rede opera continuamente durante as 24 horas do dia, todos os dias do ano, enviando a informação que se gera pelos instrumentos de medição de cada uma das estações a um computador central.

A rede manual de monitoramento atmosférica proporciona um complemento à informação produzida pela RAMA, já que seu principal objetivo é monitorar partículas suspensas no ar e a determinação de concentrações de alguns elementos que se encontram contidas nelas.

Tabela 4.3: Resumo das redes de monitoramento atmosférica na Zona Metropolitana da Cidade do México*

REDE	RAMA	MANUAL	METEOROLÓGICA
ESCALA	LOCAL	LOCAL	LOCAL
Número de locais de monitoramento	32	19	10
Parâmetro medido / número de pontos de coleta	SO ₂ / 27 H ₂ S / 2 NO ₂ / 19 NO _x / 19 CO / 25 O ₃ / 20 HC / 1 PM ₁₀ / 17	PST / 19 PM ₁₀ / 5 Sulfatos / 5 Nitratos / 5 Metais pesados / 10	Velocidade do vento / 10 Direção do vento / 10 Temperatura / 10 Umidade relativa / 10
Tipo de amostrador de cada rede	automático	Amostrador ativo	Automático / manual
Locais de monitoramento por tipo:			
Urbano	32	19	10
Suburbano			
Rural			

*Fonte: informação da RAMA e da ZMCM de 05 de julho de 1996

Por último, a rede meteorológica tem como objetivo proporcionar informação para que se possa avaliar a qualidade do ar em condições normais e extraordinárias, e assim poder elaborar prognósticos de qualidade do ar, cujo fim é analisar a estabilidade ou a dispersão dos contaminantes com uma antecedência de uma hora, 24 horas e até 48 horas.

Esta rede é formada por dez estações que contam com sensores de velocidade e direção do vento, e medidores de umidade relativa e de temperatura, que se interconectam

telemetricamente ao sistema central de controle. É completada, ainda, por uma unidade de medição de ventos de altura, que consta de uma torre meteorológica, uma ecosonda e um radar acústico; os quais permitem obter informação das condições de troca na atmosfera.

4.5 SISTEMA DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO NO BRASIL

O Brasil foi o primeiro país a adotar uma legislação específica para reduzir as emissões veiculares na América do Sul. Em 1976, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) estabeleceu, com a Resolução nº 507, o controle das emissões de gases e vapores do cárter. Nesse mesmo ano, o Governo do Estado de São Paulo promulgou a Lei nº 997 que, por intermédio do Decreto nº 8.468/76, estabeleceu, entre outras exigências, o padrão nº da Escala Ringelmann como limite de emissão de fumaça emitida por veículos diesel em circulação (revisto em 1980) e condicionou a autorização de comercialização de veículos novos no Estado somente para aqueles em conformidade com limites de emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x) a serem definidos.

4.5.1 PROCONVE

Em 1977, as primeiras discussões sobre a necessidade da implantação de um programa nacional de controle de emissões veiculares ocorreram. Um dos marcos dessas discussões foi a realização, nesse ano, de um seminário internacional promovido pela CETESB, que contou com a presença de especialistas dos EUA. A realização do evento contribuiu para que as autoridades estaduais e municipais da RMSP reconhecessem que a região já enfrentava níveis preocupantes de poluição do ar e que a participação dos veículos para a ocorrência desse problema era significativa. Também, contribuiu com as primeiras idéias sobre um programa de controle de emissões veiculares.

Finalmente, em 1985, foi aprovada a Resolução CONAMA nº 18/1986, instituindo-se, então, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Resoluções adicionais estabeleceram diretrizes, prazos e padrões legais de emissão admissíveis para as diferentes categorias de veículos e motores, nacionais e importados.

OBJETIVOS DO PROGRAMA

A resolução CONAMA 18/86 instituiu, em caráter nacional, o PROCONVE com os objetivos de:

- Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
- Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;
- Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando a redução de emissões poluidoras à atmosfera.

4.5.2 PRONAR

Após a implantação do PROCONVE, observou-se a necessidade da fixação de dispositivos de caráter normativo e do estabelecimento de ações de monitoramento atmosférico. Foi, então, criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), Resolução CONAMA nº 08/1989. Este programa teve o objetivo de promover a orientação e controle da poluição atmosférica no país, envolvendo estratégias de cunho normativo, como o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte, a implementação de uma política de prevenção de deterioração da qualidade do ar, a implementação da rede nacional de monitoramento do ar e o desenvolvimento de inventários de fontes e poluentes atmosféricos prioritários.

A estratégia do PRONAR foi o estabelecimento de limites para as emissões, por tipologia de fontes e poluentes prioritários, tendo o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle. Para que isso fosse implementado, foram definidas metas a curto,

médio e longo prazos para que se desse prioridade à alocação de recursos e fosse direcionadas as ações.

4.5.3 PROMOT

Com o avanço do PROCONVE, as emissões das motocicletas e similares passaram a ter uma contribuição relativa cada vez maior para a poluição do ar. Como resposta, foi criado o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), com datas e metas pré-estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 297, de 26/02/2002. O programa, a exemplo do PROCONVE, concede um período de tempo para o aprimoramento tecnológico dos motociclos e similares, dada a necessidade de transferir sistemas de controle utilizados no exterior, para os veículos nacionais.

4.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS

- É tendência internacional a preocupação com a qualidade do ar e o bem-estar da sociedade. Somente nas últimas décadas, vários países têm demonstrado interesse quanto ao monitoramento da qualidade do ar. Países como Noruega, Reino Unido, México e, também, Brasil têm procurado avaliar a qualidade do ar por meio da análise da concentração dos poluentes na atmosfera, utilizando-se de redes de monitoramento.
- O Brasil tem demonstrado esforços em reduzir a emissão de poluentes. Programas nacionais de controle de emissões para automotores como o PROCONVE e o PROMOT, o PRONAR têm buscado a melhoria da qualidade do ar.
- O desenvolvimento de uma metodologia que permita monitorar e determinar o nível de emissão de poluentes gasosos, priorizando aqueles contaminantes gasosos provenientes de veículos automotores permitirá identificar as reais condições da qualidade do ar e, assim, possibilitar que medidas sejam adotadas para atenuar ou evitar condições indesejáveis.

5 METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DE GASES POLUENTES DERIVADOS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES

5.1 APRESENTAÇÃO

Monitoramento é o estudo e o acompanhamento – contínuo e sistemático – do comportamento de fenômenos, eventos e situações específicas, cujas condições desejamos identificar, avaliar e comparar. Dessa forma, é possível estudar as tendências ao longo do tempo, ou seja, verificar as condições presentes, projetando situações futuras (PORRÉCA, 2000).

Ainda segundo Porréca (2000), monitoramento ambiental pode ser definido como um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, visando identificar e avaliar qualitativa e quantitativamente as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo (variações temporais). As variáveis sociais, econômicas e institucionais também são incluídas, por exercerem influências sobre o meio ambiente.

Com base nestas definições, este capítulo tem como objetivo apresentar uma estrutura de monitoramento, isto é, uma metodologia que vise ao estabelecimento de um critério sistematizado que auxilie na implementação de um sistema de monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores.

5.2 METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DE GASES POLUENTES

Com vistas ao monitoramento da poluição atmosférica gerada pelo tráfego de veículos automotores nas cidades, definiu-se uma proposta metodológica dividida em 9 etapas, conforme estrutura apresentada na Figura 5.1, em seguida essas etapas serão apresentadas de forma mais detalhada.

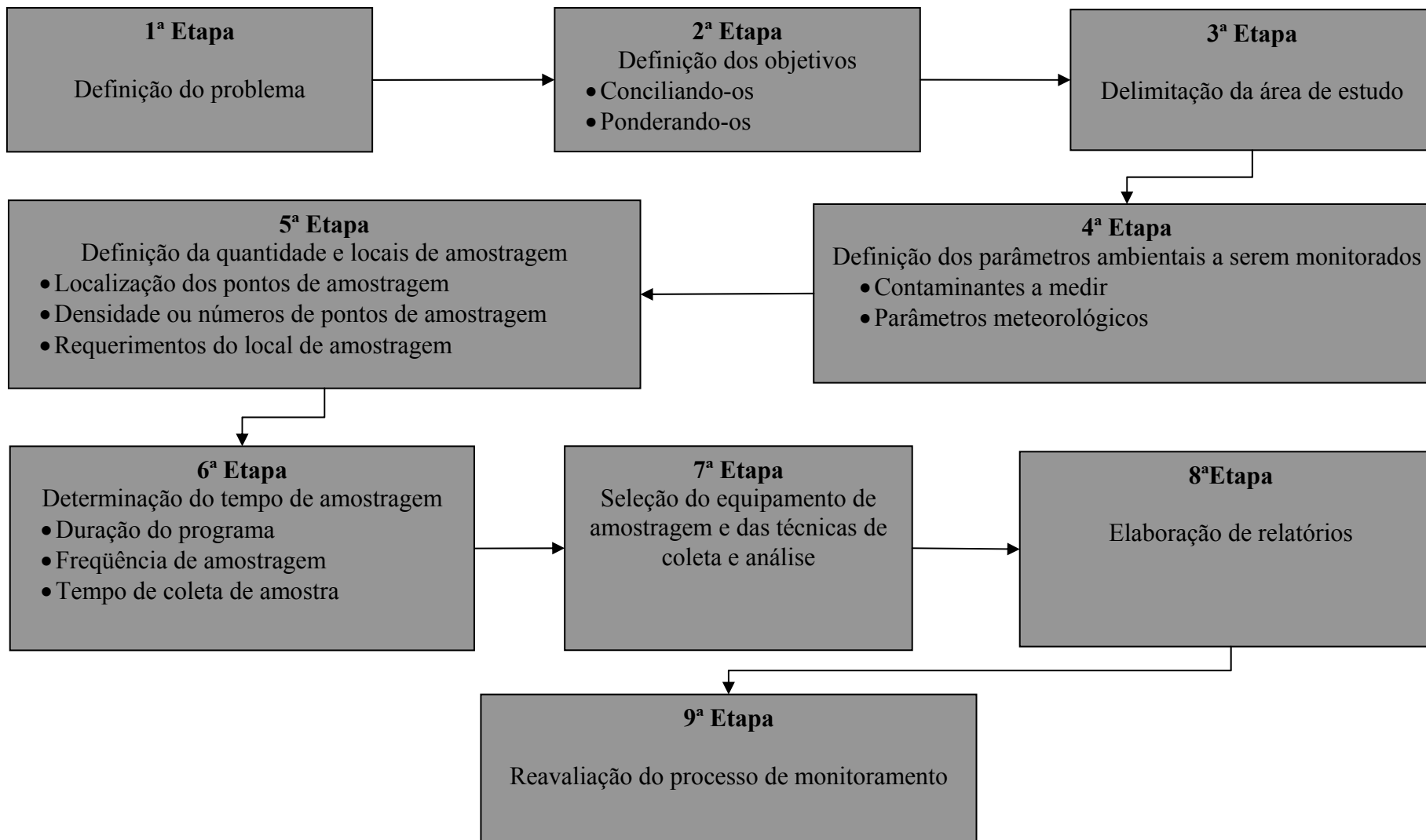


Figura 5.1: Etapas da proposta de metodologia

Etapa 1 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Projetos de monitoramento são iniciados, geralmente, a partir de um problema, pergunta ou indagação. Assim, nesta primeira etapa será definido o problema a ser resolvido no processo de monitoramento. Deve-se ter em mente que o problema deve ser construído de forma clara, pois todo o estudo de monitoramento depende da definição precisa do problema que deve ser resolvido, caso contrário todo o investimento pode ser em vão.

Usualmente os problemas de poluição do ar relacionados aos gases derivados de veículos automotores são:

- Como verificar os níveis de poluição?
- Como diagnosticar os níveis de poluição?
- Que ação devo implementar para reduzir os níveis de poluição?

Etapa 2 - DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Um dos principais pontos a ser considerado na fase de projeto e, ainda, na implementação de qualquer sistema de monitoramento da qualidade do ar é definir os objetivos que se pretendem em função do problema definido e, a partir destes, levantar todos os dados necessários para que os mesmos sejam alcançados. Entre os objetivos mais usuais encontram-se os seguintes:

- Estabelecer base de dados de monitoramento para definição de políticas de desenvolvimento e de mitigação;
- Determinar a conformidade de níveis de poluição com as normas e critérios legais;
- Estimar os efeitos na população e no ambiente;
- Informar ao público sobre a qualidade do ar;
- Proporcionar informação sobre fontes e riscos de contaminação;
- Avaliar tendências de longo prazo;
- Avaliar os efeitos das medidas de controle da qualidade do ar;
- Estudar as reações químicas dos poluentes na atmosfera;
- Calibrar e avaliar modelos de dispersão de poluentes na atmosfera.

Deve-se ponderar que na elaboração de um projeto de monitoramento, usualmente, se contempla mais de um objetivo, assim deve-se conciliar e considerar os objetivos que se esperam cobrir em ordem de importância.

Etapa 3 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

É preciso, também, que se analise a área de estudo, já que todos os objetivos de monitoramento apresentados delimitam áreas ou localidades onde os estudos serão realizados, agrupando-a de acordo com o objetivo e o tipo de amostragem.

- Amostragem de uma área ou região delimitada;
- Amostragem de contaminação causada por fontes emissoras:
 - ✓ Fixas
 - ✓ Móveis
- Amostragem específicas, geralmente relacionadas com as pessoas.

As amostragens relacionadas com uma área ou região são aquelas focadas principalmente em estabelecer o nível de contaminação de uma ou várias localidades ou de uma região determinada; as quais nos permitem conhecer a exposição da população, vegetação, materiais e propriedades da mesma. Elas servem para dar informação da qualidade do ar e da região determinada, possibilitando avaliar suas tendências ou correlacionar estes dados com outros estudos.

A finalidade das amostragens relacionadas com as fontes emissoras é determinar a concentração causada por uma ou várias fontes e a partir destas concentrações verificar se há a necessidade de se definir medidas mitigadoras para redução na fonte do poluente. Têm-se como fontes fixas aquelas que se encontram estabelecidas em um lugar determinado e sua emissão se produz sempre neste mesmo lugar, tidas por isto como pontuais e limitando-se o estudo a sua área de influência. As fontes móveis são aquelas que alteram sua localização em relação ao tempo e à área de influência de suas emissões, e por tal motivo consideradas lineares ou de superfície. Nestas fontes, os estudos orientados ao tráfego veicular envolvem monitores ao longo das rodovias e nas zonas próximas a elas.

Os monitores (amostradores) específicos mais comuns são os que estão relacionados com o ambiente próximo às pessoas e servem fundamentalmente para determinar o impacto dos contaminantes atmosféricos na saúde; são instrumentos portáteis, que medem a exposição da pessoa de forma integral. Também se realizam amostragens para promover dados de exposições para utilização em estudos epidemiológicos, como nos casos de amostragens de exposição da população tanto em interiores como exteriores.

Clima

Como verificado na revisão bibliográfica que a variação climática influencia no transporte e dispersão dos poluentes do ar ambiental, o clima constitui ponto importante a ser considerado na delimitação da área de estudo.

Grandezas físicas como temperatura, precipitação, pressão atmosférica e umidade do ar, que caracterizam o clima de uma determinada região, devem ser averiguadas no momento da descrição da área de estudo.

Escala espacial

Para esclarecer a natureza da ligação entre os objetivos gerais de monitoramento e a localização física de uma determinada estação de monitoramento, define-se o conceito de escala de representatividade de uma estação de monitoramento. Assim, descreve-se escala espacial de representatividade em termos de dimensões físicas da parcela de ar mais próxima de uma estação de monitoramento através da qual as concentrações reais de poluentes sejam razoavelmente homogêneas. A EPA adota algumas escalas que estão resumidas na Tabela 5.1.

A escala espacial de representatividade da área de estudo poderá ser escolhida em função dos objetivos pretendidos com a estação de monitoramento. A Tabela 5.2 ilustra a relação entre os quatro objetivos básicos de monitoramento e as escalas de representatividade geralmente mais apropriadas.

Tabela 5.1: Escala de representatividade espacial da poluição do ar.

Escala	EUA
Microescala	Define concentrações em volumes de ar associados com a dimensão de área que vão de vários metros a até 100 metros.
Escala Média	Define concentrações típicas de áreas correspondentes a várias quadras urbanas, com tamanho na faixa de cerca de 100 metros a 0,5 quilômetro.
Suburbana	Define concentrações dentro de uma área estendida da cidade que tenha terreno relativamente uniforme e dimensões na faixa de 0,5 a 4,0 quilômetros.
Urbana	Define condições gerais em áreas amplas de uma cidade, com dimensões da ordem de 4 a 50 quilômetros. Esta escala normalmente requer mais de um local para definição.
Regional	Define usualmente uma área rural de geografia razoavelmente homogênea, estendendo-se de dezenas a centenas de quilômetros.
Nacional e Global	Estas escalas de medição representam concentrações que caracterizam uma nação e o globo como um todo.

Fonte: US EPA (1994)

Tabela 5.2: Relação entre objetivos de monitoramento e escalas de representatividade

Objetivo de monitoramento	Escala de localização apropriada
Mais alta concentração	Micro, média, suburbana (algumas vezes urbanas).
População	Suburbana, urbana.
Impacto da fonte	Micro, média, suburbana.
Geral / fundo	Suburbana, regional

Fonte: US EPA (1994)

Etapa 4 - DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS A SEREM MONITORADOS

Uma vez estabelecidos os objetivos do estudo que se pretende obter, definir-se-ão os parâmetros ambientais que se necessitam ser medidos para a realização deste estudo. Entre os parâmetros que deverão ser medidos estão os poluentes atmosféricos - classificados em primários e secundários. Os primários são aqueles emitidos diretamente para atmosfera por alguma fonte poluidora, já os secundários são gerados a partir dos primários por meio de reações químicas ocorridas na atmosfera.

Têm-se identificado na atmosfera mais de 100 poluentes. No entanto, consideram-se como indicadores da qualidade do ar somente os mais abundantes. São eles: dióxido de enxofre,

óxidos de nitrogênio, ozônio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e partículas suspensas. Dentre eles apenas o ozônio não é emitido diretamente pelos veículos automotores.

A grande diversidade de poluentes é emitida de uma ou várias fontes, razão pela qual esses poluentes devem ser divididos de acordo com sua toxicidade individual, sua concentração ou quantidade emitida desse poluente.

Outros parâmetros ambientais que carecerão ser medidos são os parâmetros meteorológicos e topográficos, que, dependendo do objetivo do estudo, terão grande interferência, pois influem diretamente na dispersão dos poluentes atmosféricos e, no caso dos poluentes secundários, afetam sua produção na atmosfera. Dentre eles se encontram: direção e velocidade do vento, temperatura, diferencial vertical da temperatura, umidade relativa, precipitação, radiação solar, altitude, tipo de solo e relevo (EPA, 2005).

Etapa 5 - DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE E LOCAIS DE AMOSTRAGEM

Depois de definidos os objetivos de monitoramento, delimitadas as áreas de estudo e os parâmetros que se necessitam monitorar, tomar-se-á a distribuição espacial dos pontos de monitoramento ou de coleta de amostras dentro da área de estudo, de maneira que sejam representantes da qualidade do ar de um lugar determinado e seus resultados possam ser comparados com padrões de qualidade do ar, valores limites, normas etc.

Localização dos Pontos de Amostragem

A localização das estações de medição de poluentes atmosféricos, quer seja como parte do estabelecimento de uma rede de monitoramento ou para um programa específico, está em função dos objetivos que se deseja alcançar e da área que se pretende cobrir.

Diferentes procedimentos de seleção dos lugares onde devem instalar as estações de amostragem podem ser utilizados. Pode-se realizar a elaboração de uma quadrícula do espaço a ser monitorado, colocando os pontos de monitoramento nas arestas da quadrícula; e até o uso de complexos modelos estatísticos que nos proporcionam o número e a distribuição exata das estações, mas que dependem estritamente da amostra, ou seja, da quantidade de medições

que se realizarão para estabelecimento do modelo. Entretanto, os resultados da localização obtidos por meio destes modelos tendem a mudar muitas vezes devido à falta de infraestrutura (disponibilidade de água, energia elétrica, etc.), insegurança ou difícil acesso ao lugar selecionado.

A localização dos pontos de amostragem pode, ainda, ser selecionada com base na experiência e na informação com que se conta para o estudo, sendo estes lugares representantes da área que se pretende monitorar.

Tratando-se de fontes móveis, os locais de amostragem se localizarão ao longo da trajetória; pelo seu deslocamento linear. Para estudos relacionados com a interferência das concentrações máximas de poluentes urbanos com relação à saúde pública, a amostragem deverá ser feita em zonas críticas de alto tráfego.

Densidade ou Número de Pontos de Amostragem Requeridos

A densidade dos pontos de amostragem indica o número de locais de amostragem por zona dentro de uma mesma área. Para áreas com características homogêneas, ou seja, onde a parcela de ar constante na zona de amostragem é uniforme com relação à concentração dos poluentes, há a necessidade de apenas uma estação de monitoramento. No entanto, onde as concentrações sofrem variações dentro de uma mesma parcela, será necessário maior número de pontos de amostragem; bem como quando os tempos de amostragem são curtos e quando as medições forem menos freqüentes; isto é, quanto menor a freqüência, maior o número de estações.

Diferentes critérios podem ser utilizados para determinar o número de estações ou pontos de amostragem. Em geral, o número final de estações selecionadas é determinado em função de:

- A população que habita na área que se pretende monitorar.
- A problemática existente na área que se define como base do estudo e nos resultados obtidos, observando-se os fatores e as considerações que levaram a escolher as localizações das zonas de amostragem.
- Os recursos econômicos, humanos e tecnológicos disponíveis.

Assim, antes de definir o número e localização das áreas de amostragem, incorrendo em realizar instalações caras e difíceis de transpor, sobretudo quando se pretende instalar uma rede permanente de monitoramento da qualidade do ar, é recomendável utilizar estações temporais ou unidades móveis para realizar uma sondagem/investigação de quais são as condições do lugar a monitorar, principalmente quando a informação com a qual se conta não é confiável. Também é importante mencionar a necessidade de contar com estações livres de influências urbanas, que se consideram “limpas” ou de fundo.

Em função da densidade populacional, a OMS recomenda um critério para estabelecer um número médio de estações de amostragem de qualidade do ar que depende do parâmetro que se pretende medir, resumindo-se esse critério na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Sugestão de estações de monitoramento da qualidade do ar em zonas urbanas de população determinada

Média de estações por poluente						
População urbana (milhões)	Parâmetros que serão monitorados					
	Partículas	Dióxido de Enxofre	Óxidos de Nitrogênio	Oxidantes	Monóxido de Carbono	Meteorológicos (velocidade e direção do vento e gradientes térmicos)
Menos de 1	2	2	1	1	1	1
1 – 4	5	5	2	2	2	2
4 – 8	8	8	4	3	4	2
Mais de 8	10	10	5	4	5	3

Fonte: Organização Panamericana de Saúde.

Nota: Esta tabela é útil para uma primeira aproximação, quando não se conta com informação adicional.

No entanto estes valores dependem de tantos pontos críticos que se tenha por isso o planejamento é fundamental pois pode-se começar com poucos pontos e ir aumentando ao longo do tempo. Assim, estes valores podem ser modificados, utilizando-se os seguintes critérios:

- Em cidades com alta densidade industrial devem se instalar mais estações para medir partículas e dióxido de enxofre.

- Em zonas onde se utilizam combustíveis pesados devem-se aumentar as estações de dióxido de enxofre.
- Em zonas com tráfego intenso se duplicam as estações de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e oxidantes.
- Em cidades com população maior que quatro milhões de habitantes, com tráfego ligeiro, pode-se reduzir as estações de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e oxidantes.
- Em regiões com terreno acidentado, pode ser necessário aumentar o número de estações.

Requerimentos do local de amostragem

Uma vez definida a região onde se realizarão as amostras, divide-se esta em zonas e demarca-se o número (densidade) dos locais de coleta em cada zona a ser monitorada.

Ao selecionar a localização exata dos locais de amostragem e, principalmente, quando se pretende instalar amostradores ativos ou automáticos, algumas considerações práticas fazem-se necessárias. Tais como:

- Fácil acesso.
- Segurança contra vandalismo.
- Infra-estrutura.
- Livre de obstáculos.

É preciso que o local tenha fácil acesso devido às visitas que terão de ser regulares, tanto para coleta de dados como para inspecioná-lo, calibrá-lo ou para sua manutenção. Deverá, ainda, estar protegido de possíveis atos de vandalismo ou outros que alterem a coleta de amostras. Recomenda-se que o local conte com a infra-estrutura necessária como eletricidade e linhas telefônicas para poder operar qualquer tipo de equipamento de amostragem no local. Em caso de contar com amostradores automáticos, o uso de linhas telefônicas é indispensável para o envio de dados.

Assim, a Tabela 5.4 apresenta os critérios de localização das estações, traçando-se os requisitos que uma área de amostragem deva cumprir para que a informação obtida da mesma seja característica da zona de estudo.

Tabela 5.4: Critérios de localização das estações

- Serem representativas da área em que se localizam.
- Proporcionar dados comparáveis com as demais estações.
- Serem úteis pelo menos durante todo o período de tempo de estudo.
- Serem acessíveis permanentemente.
- Contar com energia elétrica segura.
- Estarem acondicionadas para resistir a condições extremas de temperatura.

Para o caso de fontes móveis (veículos automotores) há ainda alguns cuidados especiais que devem ser levados em consideração como: número de semáforos, rotatórias, cruzamentos, paradas de ônibus, retornos, interseções, vias com grande fluxo e estacionamentos. Pois, nestes pontos existem um maior número de acelerações e desacelerações que fazem com que os veículos automotores emitam uma maior quantidade de poluentes gasosos.

Com o intuito de definir características comuns para uniformizar o local de fixação dos equipamentos, Queiroz (2002) selecionou dois tipos de vias:

- Se o objetivo do monitoramento for identificar a qualidade do ar e seus impactos na saúde da população, o melhor ponto será o mais próximo de residências ou de locais de trabalho. Figura 5.2
- Se o objetivo do monitoramento for identificar a emissão de poluentes derivados de veículos, deve-se buscar vias com grande fluxo, que geralmente tem canteiro central, de acordo com o desenho urbano de cidades de médio porte; sendo este o melhor ponto para a sua localização. Figura 5.3

Ainda, segundo Queiroz (2002) sugere-se que as estações sejam localizadas no mínimo 1m da via com exceção dos canteiros centrais mais estreitos, para preservar a segurança tanto do técnico quanto do equipamento e a uma distância de no mínimo 2m de obstáculos físicos. Deve-se obedecer aos critérios de proximidade aos pontos de maior aceleração e desaceleração de veículos.

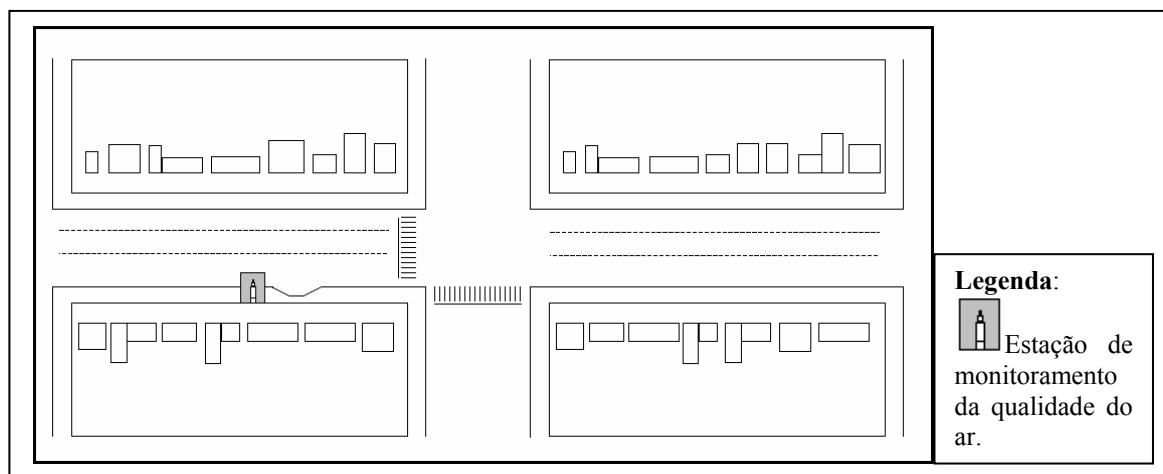


Figura 5.2: Instalação de estações de monitoramento de gases poluentes em vias de fluxo intenso sem canteiro central

Fonte: Queiroz (2002) adaptado.

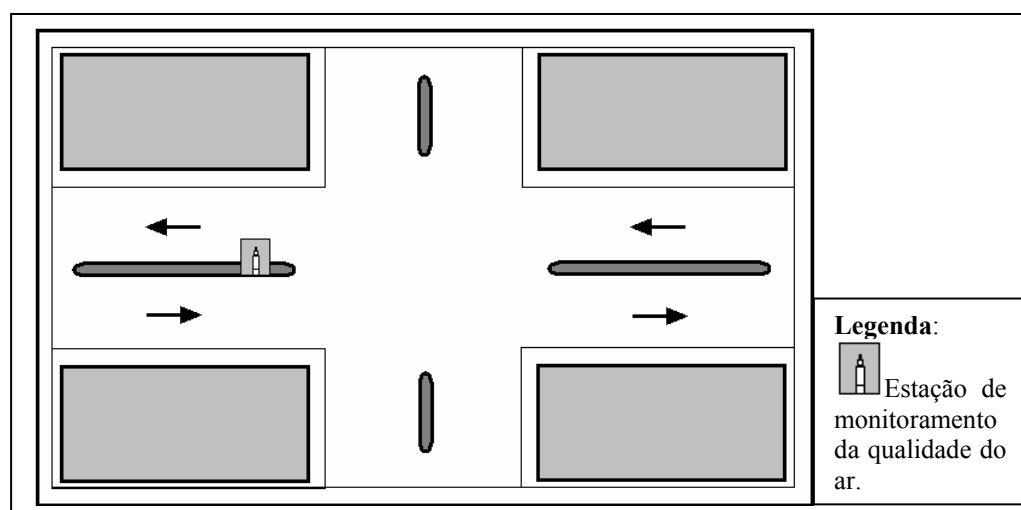


Figura 5.3: Fixação de estações de monitoramento da qualidade do ar em vias com canteiro central

Fonte: Queiroz (2002) adaptado.

Etapa 6 - DEFINIÇÃO DO TEMPO DE AMOSTRAGEM

A determinação dos tempos de amostragem dependerá do tipo de monitoramento que se deseja realizar. O primeiro passo a ser definido, levando-se em consideração o tempo, em qualquer tipo de monitoramento, quer seja de amostragem contínua ou descontínua, será a duração do mesmo. Para monitoramento descontínuo a frequência de amostragem e o tempo de coleta de amostra serão determinados em função dos objetivos de monitoramento e da qualidade dos dados que se requeira para cumprir esses objetivos.

Duração do Monitoramento

Define-se como duração de um programa de amostragem o período de tempo de avaliação em que se realizam as medições necessárias para cumprir com os objetivos do programa. Nos casos de medições permanentes de qualidade do ar, considera-se como a duração do programa de amostragem os 12 meses que abarca um ano completo do período de avaliação, porque desta maneira se leva em conta a ingerência das mudanças de estação. Também é possível fazer programas semestrais de verão e de inverno, programas mensais ou até semanais, correlacionando-os com programas permanentes.

Frequência

O termo frequência de amostragem indica o número de amostras que serão tomadas ou realizadas em um intervalo de tempo, em um ponto de amostragem ou em uma área de amostragem, e se aplica em programas de amostragem descontínuos. Este fator é de grande importância, uma vez que os valores de qualidade do ar dependem em grande parte de variações temporais: condições climáticas e mudanças de estações. Estas concentrações também variam em função do dia da semana. Em um mesmo dia, as condições meteorológicas e padrões de emissão podem produzir variações nas concentrações desses poluentes. Há ocasiões em que os valores médios máximo de concentração de poluentes primários se registram durante o período da manhã e o período da tarde, enquanto que à noite estes valores baixam. Assim, recomenda-se estabelecer uma frequência de amostragem que leve em consideração todas estas variações, de maneira que o programa de monitoramento seja representativo do que ocorre na zona de estudo. Com amostradores automáticos não se aplica este fator, uma vez que a amostragem se dá de maneira contínua durante todo o período do programa de monitoramento.

Para estabelecer valores médios anuais recomenda-se amostras individuais com uma frequência de 1 a 2 vezes por semana, dependendo das concentrações e variando o dia da semana (exemplo: coletar amostras a cada seis dias), de maneira que se colem amostras em todos os dias da semana. Para estabelecer o percentil 98 (noventa e oito) sugere-se medições pelo menos 2 vezes por semana. Para médias diárias, pelo menos 5 (cinco) medições por mês, durante um ano ou pelo menos durante seis meses, quando não há mudanças estacionais muito marcadas.

Tempo de Coleta de Amostra

O tempo de coleta de amostra de uma leitura individual em medições descontínuas corresponde ao período de tempo em que se realiza a determinação de concentrações dos poluentes; quanto mais curto é o tempo de coleta de amostra, mais altos serão os valores máximos esperados.

Este tempo é determinado levando-se em conta os critérios recomendados de efeito na saúde ou fatores de emissão dos poluentes a determinar; por meio dos limites de detecção do método de amostragem utilizado, e por meio dos critérios estabelecidos nas normas oficiais de qualidade do ar.

Algumas recomendações dos manuais WHO/ UNEP, GEMS/AIR , em relação aos tempos de amostragem, são:

- Devem-se medir concentrações médias de 24 horas.
- Recomenda-se o monitoramento anual para determinar as variações estacionais e para obter médias anuais.
- Aconselha-se a amostragem diária caso haja a necessidade de se realizar comparações significativas em curto prazo ou se as concentrações nas 24 horas serão quantificadas confiavelmente.
- Indica-se o monitoramento com resolução horária unicamente quando existem condições de episódios de contaminação.

Etapa 7 - SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO DE AMOSTRAGEM E DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE

Equipamento

Outro fator importante será a seleção dos equipamentos utilizados nas amostragens e de suas metodologias de análises, os quais deverão estar em acordo com os objetivos previamente fixados. Um dos principais elementos a considerar no momento da seleção do equipamento

será a capacidade econômica local e a disponibilidade de pessoal capacitado. Deverão, ainda, ser ponderados o custo do instrumento e sua complexidade em razão de sua confiabilidade e seu funcionamento. Sistemas com alta qualidade de dados normalmente são mais caros e mais complexos de manejar.

Técnicas de Análise

A eleição do método específico de análise depende de um número de fatores, sendo os mais importantes as características químicas do contaminante e seu estado físico: sólido líquido ou gasoso. Os métodos de referência foram desenvolvidos para determinar a concentração de um contaminante em uma amostra. A concentração se expressa em termos de massa por unidade de volume, usualmente em microgramas por metro cúbico (μ/m^3).

Os principais métodos para a detecção de gases inorgânicos no ar são os métodos de análises fotométricos, que são realizados com substâncias coletadas em solução absorvente durante as amostras.

Os métodos fotométricos baseiam-se na determinação da concentração de uma solução pela medida da intensidade de luz que se transmite através da mesma, comparando-a com uma curva padrão feita a partir das intensidades de luz de mesmo comprimento de onda, que se transmite através de uma série destas soluções, porém de concentrações conhecidas. Existem diferentes instrumentos para medir a quantidade de energia radiante absorvida, dentre eles temos os colorímetros cujo princípio é a colorimetria (procedimento de análise químico que se baseia na intensidade da cor das soluções), que utiliza técnicas visuais simples. Há também instrumentos para medir a reflectância, que é uma medida da habilidade para refletir a energia radiante, e o espectrofotômetro - instrumento colorimétrico, cujo princípio de medição é a espectrofotometria -, mais usado por ser preciso e flexível.

Algumas das técnicas fotométricas mais utilizadas na determinação de poluentes gasosos se resumem na Tabela 5.5, onde é apontado o gás a ser estudado, a solução absorvente e o reativo fotométrico.

Para a determinação de vapores orgânicos, o principal método utilizado é a cromatografia de gases, que é a destilação fracionada de escala molecular.

Etapa 8 - ANÁLISE DOS DADOS E ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS

Os dados compilados da medição de poluentes do ar podem ser úteis para profissionais desta área. O desenvolvimento de relatórios é um produto do manejo destes dados.

Tabela 5.5: Técnicas fotométricas para a medição e análise de poluentes gasosos do ar.

GÁS	SOLUÇÃO ABSORVENTE	REATIVO FOTOMÉTRICO
Dióxido de enxofre	Solução de tetraclormercurato	Pararrosalinina e formaldeído
Dióxido de nitrogênio	Solução do reativo	Cloreto de N-(1-Naftil)- etilenodiamonio
Monóxido de nitrogênio	Depois de sua oxidação a dióxido de nitrogênio	Analisar como dióxido de nitrogênio
Sulfeto de hidrogênio	Suspensão de hidróxido de cádmio	Azul de molibdênio Cloreto de N,N-dimetil-p- fenilendiamonio (formação de azul de metileno
cloro	Dissolução acética de alaranjado de metilo	Medição da intensidade da cor
Cloreto de hidrogênio	0,1-mol/l-NaOH	Rodamina de Mercúrio e sal de ferro III
Amoníaco	0,005-mol/l-H ₂ SO ₄	Fenol e hipoclorito de sódio (formação de indofenol) Reativo Nessler
Ozônio	Solução de iodeto de potássio Dissolução de ácido 5,5-inidigodisulfônico	Medição da formação de iodo Medição da intensidade da cor
Formaldeídos	Solução de tetracloromercuroato	Pararrosanilina e sulfato
Fenóis	0,1-mol/l-NaOH	P-Nitroalinina

Fonte: Lahmann. E. 1992

Os inventários de emissões são listas detalhadas de poluentes emitidos em uma determinada área. São ferramentas valiosas de planejamento e avaliação e ajudam a definir a relação entre a fonte contaminante e a comunidade vizinha, contribuem no desenvolvimento de estratégias alternativas para o controle da contaminação e proporcionam informação concisa sobre os poluentes.

Os relatórios podem ser diário, semanal, mensal, sazonal ou anual de acordo com os objetivos do monitoramento. Os relatórios deverão ser bastante detalhados, contendo em sua estrutura a concentração do poluente objeto do estudo, as condições meteorológicas nos momentos de coleta, fluxo de tráfego de veículos e todas as informações necessárias para garantir a qualidade e assegurar a precisão e validade das amostras.

Etapa 9 - REAVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MONITORAMENTO

Ao término do tempo da duração do programa, todo o projeto de monitoramento deverá ser reavaliado. Todas as possíveis alterações ocorridas neste período deverão ser analisadas, tais como mudanças no tráfego podem gerar a necessidade de novos pontos de coleta ou indicar que locais já monitorados possam ser dispensados do programa de monitoramento, uso do solo, resultado das coletas realizadas.

Esta etapa pode ser utilizada para a avaliação de problemas e erros no processo de monitoramento, bem como adequá-lo a novos objetivos e situações, e assim adaptá-lo às condições do meio ambiente.

6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA: ESTUDO DE CASO

6.1 APRESENTAÇÃO

Neste capítulo será desenvolvido um estudo de caso com o intuito de verificar-se a aplicabilidade e a validação da metodologia apresentada no capítulo 5 deste trabalho. Para atender a este propósito serão empregadas todas as etapas metodológicas descritas no capítulo anterior: definição do problema; definição dos objetivos; definição dos parâmetros ambientais a serem monitorados; determinação do tempo de amostragem; seleção do equipamento de amostragem e das técnicas de coleta e análise; análise e elaboração de relatórios; e reavaliação do processo de monitoramento.

6.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Neste tópico apresentaremos a seqüência das etapas metodológicas empregadas para a implantação do monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores, conforme descritas no capítulo anterior.

Etapa 1 – Definição do Problema

O Distrito Federal apresentou nos últimos 10 anos crescimento considerável, com aparecimento de aglomerados urbanos não planejados, aumento populacional, aumento da frota de veículos automotores (64,76% de 2000 a 2007) e, conseqüentemente, de poluentes atmosféricos. Estes problemas contudo, podem ser minimizados quando entendidos previamente.

Utilizando-se de dados como quantidade de veículos e número populacional, verifica-se que o índice de motorização (veículos por 100 habitantes) para o Distrito Federal é de 47,21; o que torna Brasília a cidade com maior número de veículos por habitante do Brasil (Denatran –

IBGE, 2007). Estes resultados apontam para uma provável elevação das taxas de emissão de poluentes gasosos por parte dos veículos automotores.

Para este estudo de caso será verificado o seguinte problema:

- A grande quantidade de veículos que circula em Brasília gera altos níveis de poluentes atmosféricos, prejudicando assim a saúde dos habitantes desta região?

Etapa 2 – Definição dos Objetivos

Após definido o problema, o presente estudo de caso tem como objetivos principais:

- Determinar a conformidade da concentração do poluente com as normas e critérios legais;
- Informar ao público sobre a qualidade do ar;
- Qual o impacto na saúde, segundo as normas da OMS.

E como objetivos secundários:

- Estabelecer bases científicas para políticas de desenvolvimento;
- Avaliar tendências de longo prazo.

Para alcançar estes objetivos e delimitar a área de estudo serão feitas amostragens de contaminação causada por fontes móveis (veículos automotores).

Etapa 3 – Delimitação da Área de Estudo

Esta etapa apresentará um contexto geral do Distrito Federal, demonstrando sua posição de destaque no panorama nacional. Ainda nesta etapa, será descrito o seu clima - fator importante na questão da poluição atmosférica - e por último, o seu índice de motorização que é importante o seu conhecimento para melhor compreensão dos dados obtidos no monitoramento.

O Distrito Federal

O Distrito Federal (D.F.) está localizado entre os paralelos de 15°30' e 16°03' e os meridianos de 47°25' e 48°12', na Região Centro-Oeste, ocupando o centro do Brasil e o centro-leste do Estado de Goiás. Sua área é de 5.789,16 km², segundo o Anuário Estatístico do Distrito Federal – 2001, equivalendo a 0,06% da superfície do País, e apresentando como limites naturais o rio Descoberto a oeste e o rio Preto a leste. Ao norte e sul, é limitado por linhas retas. Limita-se ao norte com os municípios de Planaltina, Padre Bernardo e Formosa; ao sul com Santo Antonio do Descoberto, Novo Gama, Valparaíso de Goiás e Cristalina, todos do Estado de Goiás; a leste com o município de Cabeceira Grande, pertencente ao Estado de Minas Gerais e Formosa pertencente ao Estado de Goiás; e a oeste com os municípios de Santo Antônio do Descoberto e Padre Bernardo, também do Estado de Goiás.

Tabela 6.1: Divisão das Regiões Administrativas do Distrito Federal

Região Administrativa	Área (km ²)	População	Dens. Demogr. (hab/km ²)	
RA – I	Brasília	472,12	198.422	420
RA – II	Gama	276,34	130.580	472,5
RA – III	Taguatinga	121,55	243.575	2.003,9
RA – IV	Brazlândia	474,83	52.698	110,9
RA – V	Sobradinho	572,59	128.789	224,9
RA – VI	Planaltina	1.534,69	147.114	95,8
RA – VII	Paranoá	853,33	54.902	64,3
RA – VIII	Núcleo Bandeirante	80,43	36.472	453,4
RA – IX	Ceilândia	230,33	344.039	1493,6
RA – X	Guará	45,46	115.385	2.538,1
RA – XI	Cruzeiro	8,90	63.883	7.177,8
RA – XII	Samambaia	105,70	164.319	1.554,5
RA – XIII	Santa Maria	215,86	98.679	457,1
RA – XIV	São Sebastião	383,71	64.322	167,6
RA – XV	Recanto das Emas	101,22	93.287	921,6
RA – XVI	Lago Sul	183,39	28.137	153,4
RA – XVII	Riacho Fundo	56,02	41.404	739
RA – XVIII	Lago Norte	66,08	29.505	446,5
RA – XIX	Candangolândia	6,61	15.634	2.365,2
	TOTAL	5.789,16	2.051.146	354,3

Fonte: Anuário Estatístico do Distrito Federal – 2001. **Nota:** 10 novas Regiões Administrativas foram criadas em 2003 - 2005, após o Censo 2000. Ainda não há informação mais atualizada.

O Distrito Federal abriga uma população superior a 2 milhões de habitantes, o que representa em termos de densidade populacional cerca de 351,42 hab./km²; e está dividido em vinte e nove Regiões Administrativas (RA's). A Tabela 6.1 apresenta características de algumas destas Regiões e a Figura 6.1 apresenta a distribuição espacial destas Regiões.

Para este estudo utilizou-se a Região Administrativa de Brasília RA – I. Como Capital da República desde 1960, Brasília é o centro das decisões do País e, devido a sua localização estratégica, situada no ponto central do território brasileiro (Tabela 6.2), um dos mais importantes fatores de integração nacional.



Figura 6.1: Mapa das Regiões Administrativas do Distrito Federal

Fonte: Secretaria de Turismo do Distrito Federal, 2006

Nota: 10 novas Regiões Administrativas foram criadas desde 2003. Ainda não há um mapa atualizado.

Brasília foi fundada em 21 de abril de 1960 pelo Presidente Juscelino Kubitschek, construída segundo o plano-diretor criado por Lúcio Costa e que teve a importante participação de Oscar Niemeyer no projeto arquitetônico. A capital do poder executivo, legislativo e judiciário federal, foi projetada de maneira diferente das demais capitais brasileiras; é caracterizada por grandes áreas verdes, ruas largas e retílineas e um cruzamento axial que define sua área de desenvolvimento urbano.

Tabela 6.2: Distância em linha reta de Brasília às Capitais dos Estados e Territórios

CAPITAIS	DISTÂNCIA EM LINHA RETA (km)	CAPITAIS	DISTÂNCIA EM LINHA RETA (km)
Aracaju.....	1.293,2	Manaus.....	1929,4
Belém.....	1.585,5	Natal.....	1.774,6
Belo Horizonte.....	614,0	Palmas.....	622,5
Boa Vista.....	2.490,0	Porto Alegre.....	1.614,1
Campo Grande.....	878,2	Porto Velho.....	1.902,0
Cuiabá.....	875,6	Recife.....	1.657,4
Curitiba.....	1.077,2	Rio Branco.....	2.249,7
Fernando de Noronha.....	2.151,8	Rio de Janeiro.....	931,3
Florianópolis.....	1.310,0	Salvador.....	1.062,1
Fortaleza.....	1.684,2	São Luís.....	1.518,5
Goiânia.....	173,0	São Paulo.....	870,5
João Pessoa.....	1.716,6	Teresina.....	1.308,6
Macapá.....	1.783,2	Vitória.....	947,6
Maceió.....	1.486,3		

Fonte: IBGE

Clima

Considera-se clima o conjunto das condições atmosféricas que se sucedem em determinado local.

A temperatura e a precipitação são fatores importantes para a caracterização do clima.

Para uma maior compreensão da variação da temperatura, devem ser consideradas a latitude, a altitude e a continentalidade do local analisado, uma vez que:

- Quanto mais próximo um local estiver da Linha do Equador (latitude de 0°) tanto maior será a radiação recebida e mais elevada será a temperatura;
- Quanto mais alto, topograficamente, um local estiver em relação ao nível do mar (altitude 0m) tanto menor será sua temperatura;
- Quanto maior for a distância de um local do oceano tanto maior será a variação de temperatura à qual estará submetido.

Segundo a classificação de Köppen, o clima do Distrito Federal é tropical, concentrando-se no verão as precipitações e o período seco ocorrendo no inverno.

Como no Distrito Federal as variações locais da precipitação não são relevantes, a classificação climática se dá a partir da variação da temperatura. Uma vez que não há variação significativa decorrente da continentalidade nem da latitude, a variação desta temperatura está relacionada apenas às variações altimétricas locais. Para o Distrito Federal, conforme a classificação de Köppen, observam os seguintes tipos climáticos:

- **TROPICAL (Aw)** – Temperatura, para o mês mais frio, superior a 18°C. Situa-se, aproximadamente, nas áreas com cotas altimétricas abaixo de 1.000 metros.
- **TROPICAL DE ALTITUDE (Cwa)** – Temperatura, para o mês mais frio, inferior a 18°C, com média superior a 22°C no mês mais quente. Abrange, aproximadamente, as áreas com cotas altimétricas entre 1.000 e 1.200 metros.
- **TROPICAL DE ALTITUDE (Cwb)** – Temperatura, para o mês mais frio, inferior a 18°C, com média inferior a 22° no mês mais quente. Corresponde às áreas com cotas altimétricas superiores a 1.200 metros.

Com uma temperatura média anual de 21°C, o clima é quente e subúmido, e ameno devido as altitudes. As chuvas que atingem um índice de aproximadamente 1,6785mm/ano, distribuem-se de maneira especial em dois períodos. O primeiro, de maio a setembro chovendo em média 50mm, predominando a seca rigorosa. O período chuvoso inicia-se em outubro prolongando-se até abril, sendo que durante os meses de dezembro a março as chuvas são bem mais freqüentes (80% das chuvas anuais ocorrem nestes meses).

Motorização

Em Brasília, como no resto do país verifica-se a mesma tendência, ou seja, o aumento da frota de veículos. Em dezembro de 2007, a frota total de veículos em circulação, segundo DETRAN –DF, era superior a 960 mil. Constatando-se uma taxa média de crescimento anual próximo a 9,3%. A Tabela 6.3 mostra esta variação entre os anos de 2000 e 2007.

Tabela 6.3: Frota de veículos registrada no Distrito Federal por ano 2000 – junho / 2008

ANO	FROTA		
	TOTAL	VARIÇÃO ANUAL	
		NÚMERO	(%)
2000	585.424	-	-
2001	651.342	65.918	11,3
2002	688.746	37.404	5,7
2003	732.138	43.392	6,3
2004	775.112	42.974	5,9
2005	821.352	46.240	6,0
2006	883.676	62.324	7,6
2007	964.534	80.508	9,2
06/2008	1.011.014	-	-

Fonte: DETRAN – DF

O tráfego em Brasília é representado em sua maioria por automóveis, sendo estes 76,5% da frota total de veículos automotores. A Tabela 6.4 apresenta a frota de veículos registrada no Distrito Federal por tipo.

Tabela 6.4: Frota de veículos registrada no Distrito Federal por Tipo em dezembro de 2007

TIPO DE VEÍCULO	FROTA	
	NÚMERO	(%)
Total	964.534	100,0
Automóvel	738.017	76,5
Motocicleta ¹	89.407	9,3
Camioneta	55.442	5,8
Caminhonete	31.278	3,2
Caminhão	18.125	1,9
Reboque	14.318	1,5
Ônibus	6.726	0,7
Microônibus	5.170	0,5
Utilitário	2.971	0,3
Semi-Reboque	1.895	0,2
Outros	1.085	0,1

(1) Motocicleta: inclui ciclomotor, motoneta, motocicleta e triciclo.

Fonte: DETRAN

Escala espacial

Para este estudo de caso definiu-se, a partir da Tabela 5.2, que o monitoramento terá a escala espacial qualificada como suburbana, cujas dimensões vão de 0,5 a 4,0 quilômetros, uma vez que esta pesquisa tem como objetivo verificar a que concentração do poluente a população está exposta. Podendo representar não somente a região em volta da estação, mas também regiões com as mesmas características em outras partes da cidade.

As estações que apresentam escala suburbana fornecem dados relacionados com impactos à saúde, visto que representam condições em áreas onde as pessoas vivem e trabalham, tidos como valiosos também para o desenvolvimento, teste e avaliação de conceitos e modelos descritivos de concentrações urbanas/regionais (EPA, 1994).

Etapa 4 – Definição dos Parâmetros Ambientais a serem monitorados

O parâmetro ambiental estabelecido para este estudo de caso, cuja concentração será medida, é o dióxido de nitrogênio (NO₂). A escolha deste poluente deu-se basicamente em função dos seguintes fatores: todos os veículos automotores, independentemente do combustível utilizado, produzem e lançam este gás na atmosfera; e a disponibilidade do equipamento de instrumentação para monitoramento.

O dióxido de nitrogênio é um gás poluente primário, emitido diretamente para atmosfera pelos escapes dos veículos automotores que queimam combustíveis fósseis. Altamente prejudicial ao sistema respiratório, o dióxido de nitrogênio é capaz de penetrar as regiões mais profundas dos pulmões.

Etapa 5 – Definição da Quantidade e Locais de Amostragem

LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Para a definição da localização dos pontos de amostragem verificou-se junto ao órgão responsável pelo trânsito (DETRAN – DF) o número médio diário de veículos das principais

vias de Brasília, Tabela 6.5. A partir da coleta destes dados e após levantamento do uso do solo nas proximidades destas vias, elegeram-se as principais regiões que poderão vir a ser representantes da qualidade do ar em Brasília.

Tabela 6.5: Média diária de veículos automotores que trafegam nas principais vias do Distrito Federal – 2005.

PRINCIPAIS VIAS	NÚMERO DIÁRIO MÉDIO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES SENTIDO NORTE / SUL	NÚMERO DIÁRIO MÉDIO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES SENTIDO SUL / NORTE
W3 SUL	16.707	15.239
W3 NORTE	-	13.088
L2 SUL	7.130	5.172
L2 NORTE	3.450	2.783
EIXO L NORTE	3.680	15.953
EIXO L SUL	8.776	18.719
EIXO W NORTE	21.543	8.071
EIXO W SUL	23.779	6.648

Fonte: DETRAN *apud* SUMAM (2006)

Considerado o fluxo de veículos e por ser uma avenida que de um lado há comércio e do outro uma área residencial, definiu-se a via W3 sul como região de estudo para este trabalho. Outro fator importante para esta escolha está na quantidade de semáforos e dispositivos de controle de velocidade existentes ao longo de toda a W3 sul, levando os veículos a vários momentos de aceleração e desaceleração e, por conseguinte, a uma maior emissão de poluentes gasosos.

DENSIDADE DE PONTOS DE AMOSTRAGEM REQUERIDOS

Para definir a quantidade de pontos de amostragem foram considerados os seguintes fatores:

- A população de Brasília;
- Área com característica homogênea;

Mesmo tendo Brasília o número total de habitantes inferior a 200 mil (Anuário Estatístico do Distrito Federal, 2001), o estudo considerou os demais veículos provenientes das cidades satélites, visto que uma boa parcela de moradores oriunda destas cidades trabalha em Brasília.

Outra característica importante da cidade de Brasília está na homogeneidade. Por ter sido planejada, Brasília tem setores residenciais e comerciais bem distintos, criando assim parcelas de ar uniforme com relação à concentração dos poluentes gasosos.

Desta forma, definiu-se que seria utilizada apenas uma estação para o monitoramento de dióxido de nitrogênio conforme sugestão da Organização Panamericana de Saúde.

REQUERIMENTOS DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Para determinar a localização exata dos equipamentos na área de estudo, consideraram-se os seguintes aspectos:

- Fácil acesso;
- Segurança contra vandalismo;
- Infra-estrutura;
- Livre de obstáculos.

Com base nestes fatores optou-se pelo local onde já existe uma estação de monitoramento de material particulado na Avenida W3 Sul, localizado na quadra 714. Esta estação preenche todos os requisitos acima listados, com exceção de uma árvore localizada bem próxima à estação, conforme Figuras a seguir.



Figura 6.2: TRIGAS



Figura 6.3: Estação W3 sul.



Figura 6.4: Estação W3 sul (localização da árvore)



Figura 6.5: Vista de Satélite da Estação W3 sul

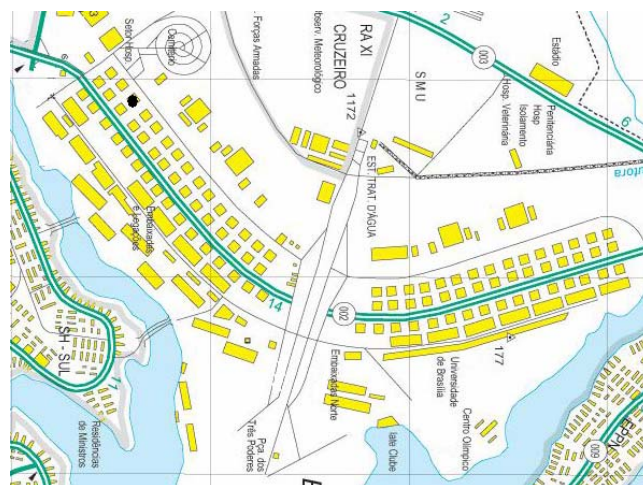


Figura 6.6: Mapa de Brasília indicando ponto de coleta.

Etapa 6 – Definição do Tempo de Amostragem

DURAÇÃO DO MONITORAMENTO

Este estudo de caso tem caráter de medições permanentes, ou seja, considera-se como a duração do tempo de amostragem os 12 meses do ano. No entanto, por questões como dificuldade para compra e demora na entrega de reagentes importados, as medições iniciaram-se somente no mês de maio de 2007 e estenderam-se até abril de 2008.

FREQÜÊNCIA

Para este estudo, estabeleceu-se uma freqüência de amostragem que representasse o que ocorre na zona de estudo. Para tanto, o acompanhamento do monitoramento foi efetuado durante os dias úteis da semana, período em que há um fluxo maior de veículos e por conseqüência uma maior emissão de poluentes na via, uma vez que essas características variam em função do dia da semana - aos sábados e domingos o tráfego na área de amostragem diminui consideravelmente.

A ausência, entretanto, de recursos humanos necessários para realização diária das coletas de dados não permitiu que todos os dias programados (úteis) fossem contemplados, conforme pode-se verificar no Anexo b.

TEMPO DE COLETA DE AMOSTRA

O tempo de coleta de amostra de uma leitura individual corresponde ao período necessário para se realizar a determinação de concentração do poluente. Este tempo é determinado levando-se em conta os efeitos nocivos à saúde ou fatores de emissão, limites de detecção da técnica de amostragem e por critérios estabelecidos nas normas oficiais de qualidade do ar.

Para o caso do dióxido de nitrogênio serão feitas coletas de amostras por 24 horas, conforme recomendações do WHO/UNEP e considerando-se também o método a ser utilizado.

Etapa 7 – Seleção do Equipamento de Amostragem e das Técnicas de Análise

Equipamento

O amostrador de pequeno volume TRIGÁS, Figura 6.7, é um instrumento projetado e fabricado para a amostragem e coleta de poluentes gasosos no ar atmosférico utilizando-se de métodos ativos. Com ele, podem ser feitas coletas de um a três gases simultaneamente no ar ambiente, sendo freqüentemente utilizado para medir dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ácido sulfídrico, amônia e outros poluentes para os quais existam reagentes disponíveis para sua completa coleta mediante absorção. Numa descrição simplificada, o amostrador é formado por um trem de amostragem que, mediante o uso de uma bomba a vácuo, faz borbulhar o ar atmosférico em reagentes especiais e com vazão conhecida. Os poluentes contidos no ar são então coletados para análise posterior em laboratório (DIAS, 2001).



Figura 6.7: Amostrador de pequeno volume – APV (TRIGÁS)

O princípio de operação do TRIGÁS é o de absorção – transferência de um componente gasoso para um meio líquido ou sólido no qual ele se dissolve. A absorção é muito utilizada em amostragem atmosférica por causa dos numerosos métodos disponíveis para analisar a solução resultante.

Um volume conhecido do ar amostrado é feito borbulhar através de um reagente aquoso apropriado. Este reagente retém o poluente desejado mediante absorção. Posteriormente, no laboratório, o reagente é analisado com técnicas químicas por via úmida e espectrofotometria para quantificar a massa do gás poluente coletada (DIAS, 2001). Durante a operação, o ar entra no trem de amostragem através de um funil invertido conectado a uma mangueira. O objetivo do funil é reduzir a possibilidade de entrada e coleta de gotas de água durante período de chuva assim como de partículas grandes.

Depois de passar pelo funil, o ar então passa para um tubo distribuidor de vidro que divide o fluxo em três partes. Cada um destes três fluxos é encaminhado a um frasco – borbulhador. Nestes frascos – borbulhadores –, os reagentes específicos retêm e atuam nos gases poluentes, e os gases amostrados restantes continuam circulando.

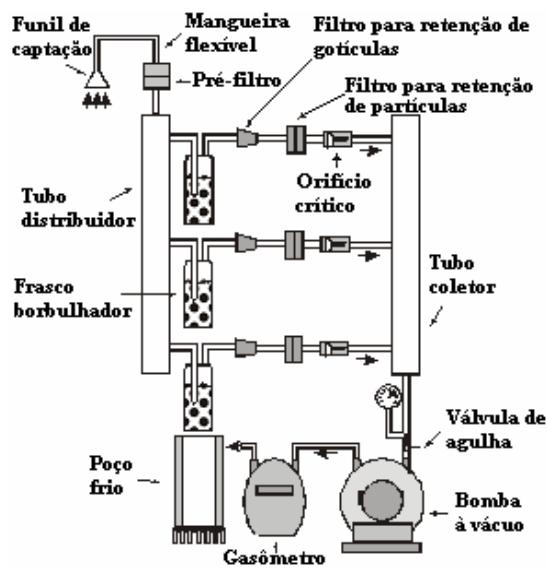


Figura 6.8: Diagrama do Sistema Pneumático do TRIGÁS

Fonte: DIAS, (2001).

O ar, então, sem os poluentes, passa por um filtro para eliminação das gotículas e névoa; e depois, por um filtro de membrana para eliminar partículas que possam entupir os orifícios críticos. Em seguida, o ar passa pelos orifícios que controlam a vazão continuamente. As três vazões paralelas são então reunidas através de um tubo coletor e enviadas a uma bomba a vácuo. Por fim, o ar segue para o gasômetro onde é medido o volume total dos fluxos gasosos. A Figura 6.8 mostra o funcionamento do TRIGÁS.

Técnica de Análise

Para a mensuração do dióxido de nitrogênio utilizando-se de equipamentos ativos verificou-se a possibilidade de utilização das técnicas a seguir:

- Método equivalente – Gases – Determinação do teor de dióxido de nitrogênio – Reação de Gress-Saltzman;
- Método equivalente – Método do arsenito de sódio;
- Método equivalente – TGS – ANSA para dióxido de nitrogênio.

Após análise minuciosa das limitações, interferência de outros poluentes no cálculo da concentração de dióxido de nitrogênio, de cada uma das técnicas acima, adotou-se o método TGS – ANSA para dióxido de nitrogênio como sendo aquela mais apropriada a ser utilizada para este estudo de caso.

Segue abaixo uma breve descrição das três técnicas e, no apêndice, apresenta-se detalhadamente a técnica TGS – ANSA para dióxido de nitrogênio que foi utilizada neste estudo de caso como técnica de mensuração deste poluente.

MÉTODO – Reação de Gress-Saltzman

Esta norma prescreve o método para a determinação do dióxido de nitrogênio em gases na faixa de $4\mu\text{g}/\text{m}^3$, podendo ser aplicada também ao enteno. Para concentrações de NO_2 que excedam a $10.000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou para amostras com teor de dióxido de enxofre relativamente alto devem ser aplicados outros métodos.

Como o dióxido de enxofre é um interferente para este método, ou seja, gera resultados de concentração de dióxido de nitrogênio imprecisos, e sendo ele um poluente emitido na combustão de veículos automotores – o que torna muito provável a sua existência ao longo das vias – não se é recomendável o uso deste método perto de rodovias ou localidades de tráfego intenso.

MÉTODO – do arsenito de sódio

O método é aplicado em amostragem integrada de NO₂ por 24 horas no ar ambiente. Este método foi designado pela US EPA – N° EQN-1277-026. A faixa de utilização do método é de 9 a 420 µg/m³ (0,005 a 0,22 ppm). Concentrações de dióxido de nitrogênio são medidas de maneira precisa pela diluição 1:1 da amostra coletada.

Este método é uma evolução ao método apresentado anterior, pois, a interferência potencial do dióxido de enxofre é eliminada pela conversão de qualquer SO₂ em sulfato com peróxido de hidrogênio durante a análise. No entanto, o método sofre interferência positiva do óxido nítrico e interferência negativa do dióxido de carbono, ambos também emitidos pelos veículos automotores. Desta forma, não sendo apropriado o uso do método perto de rodovias ou localidades de tráfego intenso.

MÉTODO – TGS – ANSA

Esta técnica foi aprovada como método equivalente nos Estados Unidos pela US EPA – N° EQN-1277-028 e também designado como método equivalente no Brasil para mensuração da concentração de dióxido de nitrogênio ambiente. O método é aplicável à coleta e subsequente análise laboratorial de amostras de 24 horas. – a análise laboratorial sofre interferência positiva tanto do ácido nitroso (HONO) quanto do anidrido nitroso (N₂O₃).

A uma concentração de dióxido de nitrogênio de 100 µg/m³ (0,05 ppm) os seguintes poluentes, não interferem aos níveis indicados: amônia, 205 µg/m³ (0,30 ppm); monóxido de carbono, 154.000 µg/m³ (135 ppm); formaldeído, 750 µg/m³ (0,60 ppm); óxido nítrico, 734 µg/m³ (0,60 ppm); fenol, 150 µg/m³ (0,04 ppm); ozônio, 400 µg/m³ (0,20 ppm); e dióxido de enxofre, 439 µg/m³ (0,17 ppm).

Portanto, sendo apropriado para o uso em coleta de amostras ao longo de rodovias ou localidades de tráfego intenso.

Etapa 8 – Análise dos Dados e Elaboração de Relatórios

Com a finalidade de se atender aos objetivos principais deste estudo de caso – determinar a conformidade da concentração do poluente com as normas e critérios legais e informar ao público sobre a qualidade do ar–, serão apresentados os resultados das coletas efetuadas na estação de monitoramento e realizadas entre o período 02/05/2007 à 28/04/2008.

Tabela 6.6: Resultados das medições de dióxido de nitrogênio (NO₂)

POLUENTE	Média anual µg/m³	Máxima Medição µg/m³	Mínima Medição µg/m³	Padrão CONAMA µg/m³
Dióxido de nitrogênio	67,193	154,960	19,019	100

Para este período de estudo verificou-se (Tabela 6.6) a concentração média anual de dióxido de nitrogênio (NO₂) igual a 67,193µg/m³, sendo 154,960µg/m³ o maior valor verificado (09/10/2007) e 19,019µg/m³ o valor mínimo apurado em 22/01/2008 (Anexo B). Após a correlação entre a média calculada e o padrão nacional, principal objetivo deste estudo de caso, verifica-se que a concentração média anual de dióxido de nitrogênio no Distrito Federal encontra-se abaixo do valor limite estabelecido pela legislação.

Tabela 6.7: Concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂) em algumas cidades.

CIDADE	CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO em µg/m³
Frankfurt	45
Tóquio	68
Cidade do Cabo	72
Nova York	79
Mumbai, Índia	39
São Paulo	83
Xangai	73

Fonte: Banco Mundial (2000) *apud* PROCONVE (2006)

A Tabela 6.7 apresenta a concentração de dióxido de nitrogênio em algumas cidades do mundo. Verifica-se que os resultados das coletas no Distrito Federal, mesmo sendo a cidade com o maior número de veículos por habitante do Brasil (Denatran – IBGE, 2007), tem a concentração de dióxido de nitrogênio bem abaixo do valor apresentado em São Paulo. A possível justificativa para este fato pode estar relacionada ao volume total de veículos existente em São Paulo que é de aproximadamente 7,4 milhões (CETESB, 2006), valor muito superior ao encontrado em Brasília associado aos fatores de transporte e dispersão.

Tabela 6.8: Índice da qualidade do ar (IQ_{Ar})

POLUENTE	Índice da Qualidade do Ar (IQ _{Ar})	Qualidade do Ar
Dióxido de nitrogênio	33,597	Boa

Ao se fazer a análise utilizando o índice da qualidade do ar (IQ_{Ar}) (Tabela 6.8) verifica-se que o valor calculado 33,597 está dentro da faixa que se define como “Boa” (0 – 50), concluindo-se, assim, que os danos à saúde humana são mínimos para esse poluente (dióxido de nitrogênio), ver Tabela 2.12.

A Figura 6.9 mostra o comportamento das concentrações médias mensais de NO₂. Nota-se que, inicialmente, houve uma tendência decrescente da concentração até julho. Invertendo-se esta tendência nos meses seguintes até outubro e novamente decrescendo até abril de 2008.

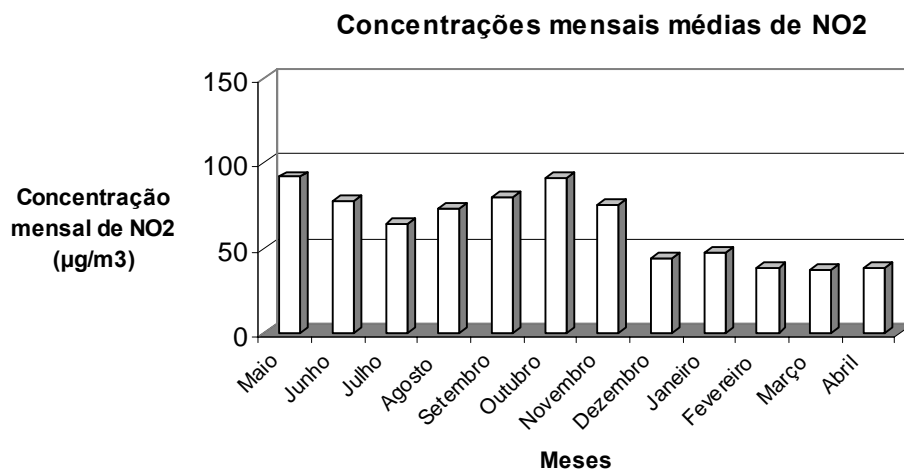
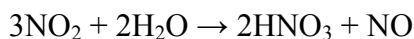


Figura 6.9: Concentrações mensais médias de NO₂.

O registro de concentrações mais altas de NO₂ entre maio/2007 até novembro/2007 se deve ao longo período de seca observado em Brasília, conforme dados pluviométricos do Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 6.10), onde pode-se constatar uma seqüência de quatro meses sem nenhum dia de chuva.

O dióxido de nitrogênio é um gás que reage com a água da chuva, conforme reação química abaixo, formando assim o ácido nítrico (HNO₃). Em um primeiro momento, verifica-se uma diminuição do dióxido de nitrogênio na atmosfera, o que é benéfico, no entanto o ácido nítrico é um dos principais componentes da chuva ácida.



Os principais efeitos da chuva ácida na saúde do homem são: aparecimento de conjuntivites quando ocorre o contato de partículas ácidas com os olhos; problema respiratório (inalação de partículas ácidas) principalmente em quem tem história de asma, bronquite, rinite e sinusite; redução de mecanismos de defesa contra infecções, predispondo ao aparecimento de broncopneumonias.

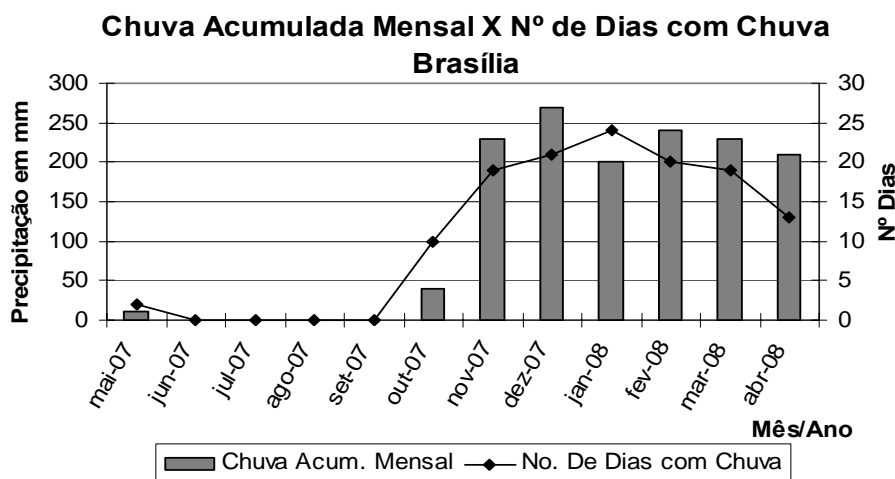


Figura 6.10: Chuva acumulada mensal X N° de dias com chuva para o período de maio/2007 à abril/2008.
Fonte: INMET (2008)

Uma vez que para o cálculo do índice de qualidade do ar utiliza-se de regra de três simples, este carrega a mesma tendência das médias das concentrações mensais. Para o mês de maio

obteve-se o pior valor (45,95), segundo a Figura 6.11, bem próximo de (50) onde haveria mudança da qualificação do ar de Bom para Regular.

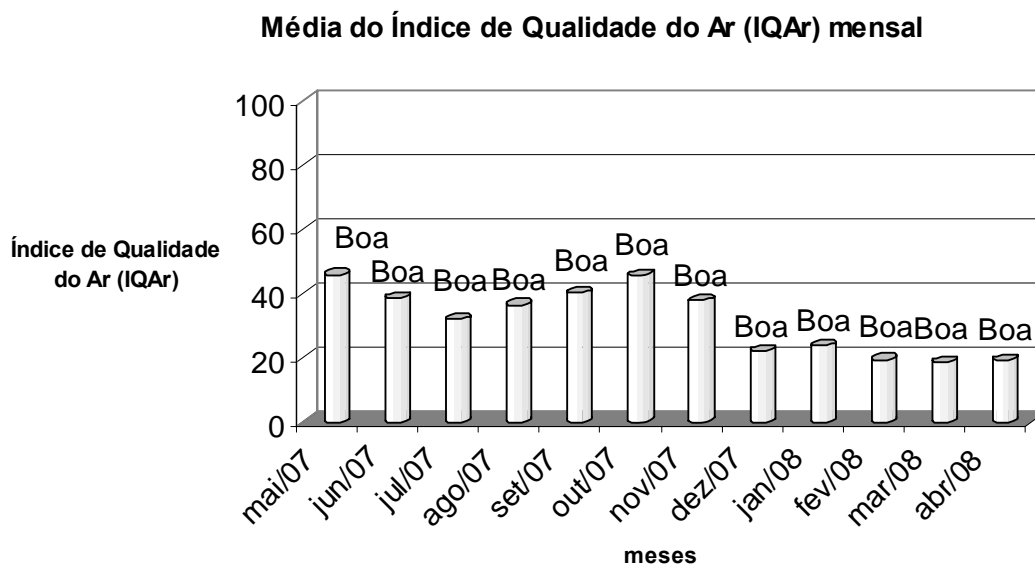


Figura 6.11: Média do índice de qualidade do ar (IQ_{Ar}) mensal

Etapa 9 – Reavaliação do Processo de Monitoramento

Ao término do tempo da duração do programa, todo o processo de monitoramento deverá ser reavaliado. Todas as possíveis alterações ocorridas neste período deverão ser analisadas. Mudanças no tráfego podem gerar a necessidade de novos pontos de coleta ou indicar que locais já monitorados possam ser dispensados do programa de monitoramento.

Esta etapa pode ser utilizada para a avaliação de problemas e erros no processo de monitoramento, bem como adequá-lo a novos objetivos e situações, e assim adaptá-lo às condições do meio ambiente.

6.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS

- O estudo de caso permitiu verificar a possibilidade da realização do monitoramento do dióxido de nitrogênio, utilizando-se da metodologia proposta.

- Observou-se, após aplicação da metodologia proposta, que a concentração de dióxido de nitrogênio em Brasília encontra-se em conformidade com as normas e critérios legais.
- Constatou-se, ainda, que mesmo sendo Brasília a cidade com o maior índice de motorização do Brasil, os danos causados pelo dióxido de nitrogênio à saúde das pessoas próximas da área de estudo são mínimos segundo padrões estabelecidos pela OMS. No entanto, no período da seca a concentração deste poluente fica bem próxima daquela que gera danos à saúde.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 APRESENTAÇÃO

O presente estudo permitiu entender a importância de se medir as concentrações reais de exposição da população em grandes centros urbanos, de maneira que posteriormente se possa utilizar destes dados para avaliações de risco e desenvolvimento de políticas de controle.

Buscou-se desenvolver, nesta pesquisa, uma metodologia que permitisse monitorar e determinar o nível de emissão de poluentes gasosos provenientes de veículos automotores e, a partir dos dados coletados avaliar a qualidade do ar segundo os limites estabelecidos em legislação. Estes limites estão intimamente ligados aos efeitos nocivos causados pela exposição do ser humano a certas concentrações dos contaminantes atmosféricos.

7.2 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA E SUA APLICABILIDADE

Na etapa da revisão bibliográfica identificaram-se os principais métodos de amostragem existentes, de forma que a proposta metodológica contemplasse o maior número possível de poluentes gasosos e suas técnicas de análise.

A proposta metodológica foi validada mediante um estudo de caso no Distrito Federal, e apresentou-se como uma importante ferramenta de pesquisa na questão da qualidade do ar em centros urbanos. Podendo ter seus resultados publicados, no intuito de informar a população em geral sobre os níveis de emissão dos contaminantes escolhidos para o monitoramento. Em particular, neste estudo de caso, o poluente selecionado foi o dióxido de nitrogênio.

7.3 LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA

A metodologia apresentada neste trabalho, como qualquer outra, também tem limitações que serão destacadas a seguir:

- Como a coleta dos dados, seguindo a metodologia proposta, é feita no ar ambiente e não diretamente na fonte emissora os resultados, além das emissões provenientes dos veículos, também abrangem as emissões oriundas de outras fontes poluidoras que estiverem próximas à estação de monitoramento. Para minimizar este fator as estações devem ser localizadas de forma que a principal fonte do poluente monitorado sejam os veículos automotores.
- A metodologia desenvolvida não prevê o comportamento da dispersão do poluente monitorado. De maneira que os resultados representam a qualidade do ar apenas na região de amostragem.

7.4 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Após a análise dos resultados oriundos da aplicação da metodologia foram identificados alguns pontos que poderão ser estudados, sob uma abordagem diferenciada ou de modo mais aprofundado:

- Verificar a correlação existente entre as concentrações dos poluentes e a sazonalidade, além de identificar como os parâmetros locais influenciam na concentração destes contaminantes.
- Desenvolver modelos de dispersão de poluentes atmosféricos com o intuito de se investigar a exposição da população que estiver mais distante da fonte poluidora.
- Desenvolver estudos correlacionando o fluxo de veículos e os níveis encontrados de concentração dos poluentes.

- Ampliar os estudos relacionados ao conhecimento de métodos estatísticos com o intento de se verificar a quantidade mínima de coletas que representem as médias descritas em legislação, de forma que se otimize os custos com materiais (reagentes e equipamentos) e recursos humanos.
- Desenvolver estudos visando quantificar monetariamente os impactos causados pela poluição veicular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, I. T. DE. **A Poluição Atmosférica por Material Particulado na Mineração a céu Aberto**. 1999. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de São Paulo, USP, São Paulo, 1999.
- AMERICAN THORACIC SOCIETY (ATS). **Health Effects of Air Pollution**. New York: American Association; 1978.
- BAJAY, S.V. & BERNI, M.D., 1994, “**Otimização da Demanda de Energia e da Emissão de Poluentes no Transporte Urbano: Estudo de Caso sobre a Cidade de Salvador**”. II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 481 – 497, UNICAMP, São Paulo, Dezembro.
- BARTH, M.; NA, F.; YOUNGLOVE, T.; SCORA, G.; LEVINE, C.; ROSS, M.; WENZEL, T. **Development of Comprehensive Modal Emission Model: final report NCHRP Project 25-11**. Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 2000.
- CAR INTERNATIONAL, **Quick Reference. Manual of Calculation of Air Pollution from Road Traffic Program** (CAR INTERNATIONAL).
- CEPIS. **Curso de Orientación para el Control de la Contaminación Del Aire**; Manual de autoinstrucción. Adaptado por Marcelo E. Korc de “SI:422 Air Pollution Control Orientation Course” Del Instituto de Capacitación de la Contaminación Del Aire (APTI) de la Agencia de Progección Ambiental de los Estados Unidos. Lima: CEPIS. 1999.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2006). **Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2005**. São Paulo, SP`.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2007). **Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2006**. São Paulo, SP`.

CHIQUETTO, S. L., 1991, **Proposta Metodológica para Avaliação da Capacidade Ambiental em Áreas Urbanas sob a Ótica da Contaminação Atmosférica Provocada pela Circulação de Veículos Automotores**. Tese de M. SC., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CONAM – Consejo Nacional del Medio Ambiente. 2000. **Deterioro de la calidad del aire**. En: <<http://www.conam.gob.pe/geo/ii1.htm>> Acesso em: 12/11/2007

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções do CONAMA**. Ministério do meio Ambiente – MMA. 2006.

COSTA, E. S. UCB – DF, Brasil. Título: **Efeitos da Poluição do Ar Relacionados com o Crescimento da Área Urbanizada e do Número de Veículos Automotores no Distrito Federal**, 2002.

COUTO, A.P.A. (2000). **Análise da redução na emissão de material particulado de ônibus urbano**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UnB, Brasília – DF.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito (2006). **Evolução da frota de veículos, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios das Capitais – 1990 a 2003**. Disponível em <<http://www.infoseg.gov.br/renaest/detalheNoticia.do?noticia.codigo=113>>. acessado em 01/12/2007.

DENATRAN. **Transporte e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: DENATRAN, 1980.

DETRAN – DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO DISTRITO FEDERAL. **Estatísticas sobre a frota de veículos do Distrito Federal.** disponível: <<http://www.detran.df.gov.br/>>. Acesso em: 03 de março de 2008.

DIAS, J.W.C.: **APV TRIGÁS manual de operação.** Energética, Rio de Janeiro, Novembro de 2001

ERICSON, E. **Variability in Urban Driving Patterns.** Transportation Research Part D, v. 5, 2000

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (2007). **Relatório Anual de Qualidade do Ar – 2006.** Rio de Janeiro. 2007.

FILIZOLA, I.M. (2005). **Identificação de valores referenciais do nível de emissão de gases de veículos automotores leves do ciclo Otto.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UnB, Brasília – DF.

GUSMÃO, R.P.; MAIO, R.C.; CARREIRA, M.E.P.C.; ESTEVES, M.G.; BRANCO, M.L.G.C.; AMENLA, P.L. **Diagnóstico Brasil – A ocupação do território e o meio ambiente.** Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1990.

Health Effect Institute (HEI). **Air Pollution, the Automobile and Public Health.** Washington DC: Health Effect Institute. National Acad Press; 1988.

HEYWOOD, J. B. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** New York: McGraw-Hill, 1988.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráfico de Chuva Acumulada Mensal X Número de Dias com Chuva.** Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2008

- Lahmann, E. **Determination and Evaluation of Ambient Air Quality. Manual of Ambient Air Quality Control in Germany.** The Federal Minister for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety; 1992.
- LIPPMANN M. **Health Effects of Ozone. A Critical Review.** Journal of the Air Pollution Control Association. 39: 672-679
- LODGE, J.P. (1989). **Método para a determinação de dióxido de nitrogênio atmosférico (24h) (TGS-ANSA). Métodos de Amostragem no Ar e Análise.** Lewis Publishers inc, tradução José Warley Coelho Dias (2003), Rio de Janeiro.
- MEHTA, T; KOTTAPALLI, A; MAHMASSANI, H.S.; BHAT, C. **Assessing the Environmental Benefits of Intelligent Transportation Systems: methodologies and applications.** CTR/University of Texas at Austin. 2003. Disponível em < www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/index.html > Acesso em 20 de maio de 2006.
- MERCEDEZ-BENZ. **Os veículos comerciais e o meio ambiente.** 1991
- MONTEIRO, K. M. F. P. **Estudo Experimental da Eliminação de Gases Poluentes em um Reator a Plasma por Descarga Corona.** 1999. 105f Tese (Mestrado em Física), Universidade de Brasília.
- Mücke H.G., Turowski E. **Survey of National, Regional and Local Air Monitoring Networks of the WHO European Region.** WHO collaborating centre for air quality management and air pollution control at the Institute for Water, Soil and Air Hygiene – Federal Environmental Agency. Report 8. Berlin, Germany, 1995.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) **Modeling Mobile – Source Emissions.** Washington D.C.: National Research Council, 2000.

PASCHOAL J.O.A.; PASQUALINI, D.A.; VASCONCELLOS, E. **Competitividade e inovação tecnológica – Um estudo do setor de revestimento cerâmico.** São Paulo, 1997.

PORRÉCA, Lúcia Maria. **Guia de Chefe: Monitoramento Ambiental.** Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/siucweb/guiadechefe/guia/geralt.htm>> acessado em 10/03/2008.

PROCONVE. **Avaliação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.** Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2006

QUEIROZ, L. (2002). **Desenvolvimento de uma metodologia de monitoramento de material particulado derivado de veículos automotores com amostradores manuais.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UnB, Brasília – DF.

ROMIEU, I. **Epidemiological Studies of the Health Effects of Air Pollution due to Motor Vehicles. Public Health Impact and Control Measures.** Editors: David Mage and Oliver Zali. World Health Organization – WHO; 1995

SEDUH – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação. **Anuário estatístico do Distrito Federal.** 2001

SILVA, Solange Teles da. **A proteção da qualidade do ar.** Jus Navigandi, Teresina, a.1, n.16, julho de 1997. Disponível em: <www1.jus.com.br/doutrina/texto.asp?id=1693>. Acesso em 22 de dezembro de 2007.

SKC **Comprehensive Catalog and Sampling Guide.** SKC West Inc. 1993.

SMA – Subsecretaria de Meio Ambiente (2007). **Relatório da Qualidade do Ar no Distrito Federal Ano 2006.** Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Distrito Federal.

SUMAM – Subsecretaria de Meio Ambiente (2006). **Relatório de Monitoramento da Qualidade do Ar no Distrito Federal Ano 2005 (junho – dezembro)**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Distrito Federal.

TRANSPORT RESEARCH LABORATORY (TRL). **Methodology for Calculating Transportation Emission and Energy Consumption: deliverable 22 for the Meet Project**. Report no SE/491/98. 1999. Disponível em <www.inrets.fr/infos/cost319>. Acesso em 10 junho de 2006.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). **Expanding metropolitan highways: Implications for Air Quality and Energy Use**. Special report 245. Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 1995.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM AND WORLD HEALTH ORGANIZATION (UNEP/WHO). GEMS/AIR Methodology Review Handbooks. Nairobi: United Nations Environment Programme; 1994.

- Vol.1. **Quality Assurance in Urban Air Quality Monitoring**.
- Vol.2. **Primary Standard Calibration Methods and Network Intercalibrations for Air Quality Monitoring**.
- Vol.3. **Measurement of Suspended Particulate Matter in Ambient Air**.
- Vol.4. **“Passive and Active Sampling Methodologies for Measurement of Air Quality”**. WHO/EOS/94.4, UNEP/GEMS/94.A.5, UNEP Nairobi.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) **40 CFR (Code of Federal Regulations), Part 58 Ap. D. Washington, D.C. 1994**.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) **Automobile emissions: an overview**. EPA 400-F-92-007. 1994. Disponível em <http://www.epa.gov/otaq/consumer/05-autos.pdf> . Acesso em: 7 jul 2007.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), **Air Quality Index, A Guide to Air quality and your health.** (2003).

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), **Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Vol. 2: Ambient Air Specific. Methods.** EPA, Cincinnati - EEUU (1993).

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Sodium Arsenite Method for the Determination of Nitrogen in the Atmosphere.** EPA Designated Equivalent Method No. EQN-1277-026. tradução Dita Porto Andrade e José Warley Coelho Dias (2003), Rio de Janeiro.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **Transporte e Meio Ambiente: conceitos e informações para análise de impactos.** São Paulo. Edição do autor. 2006

VAZ DE MELO, C.R. (2004). **Desenvolvimento de uma metodologia para determinar os níveis de emissão do escapamento de veículos automotores leves do ciclo Otto em condições reais de operação.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UnB, Brasília – DF.

WENZEL, T.; ROSS, M. **Emissions From Modern Passenger Cars With Malfunctioning Emission Controls.** SAE Technical Papers Series, n 960067, 1996.

ANEXOS

ANEXO A

FORMULÁRIO DE AMOSTRAGEM

FORMULÁRIO DE AMOSTRAGEM (U.S. EPA)

Local _____ Poluente _____ Amostrador nº _____ Amostra nº _____ Tipo de medidor de vazão _____ Nº medidor de vazão _____	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 40%;"></td> <td style="width: 25%; text-align: center;">Aberto</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">fechado</td> </tr> <tr> <td>Leitura inicial vácuo</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Leitura final vácuo</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Dia início amostragem</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Hora início amostragem</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Dia término amostragem</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Hora término amostragem</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Leitura inicial horâmetro</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Leitura final horâmetro</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Tempo de amostragem</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> <tr> <td>Vazão nominal</td> <td colspan="3">_____</td> </tr> </table>			Aberto	fechado	Leitura inicial vácuo	_____	_____	_____	Leitura final vácuo	_____	_____	_____	Dia início amostragem	_____			Hora início amostragem	_____			Dia término amostragem	_____			Hora término amostragem	_____			Leitura inicial horâmetro	_____			Leitura final horâmetro	_____			Tempo de amostragem	_____			Vazão nominal	_____		
		Aberto	fechado																																										
Leitura inicial vácuo	_____	_____	_____																																										
Leitura final vácuo	_____	_____	_____																																										
Dia início amostragem	_____																																												
Hora início amostragem	_____																																												
Dia término amostragem	_____																																												
Hora término amostragem	_____																																												
Leitura inicial horâmetro	_____																																												
Leitura final horâmetro	_____																																												
Tempo de amostragem	_____																																												
Vazão nominal	_____																																												

Vazão inicial _____ _____ _____ Média _____	Vazão final _____ _____ _____ Média _____	Diferença % _____ _____
--	--	----------------------------

Temp. Média amostra _____ °C, Umidade relativa _____ %
 Temp. ambiente: Início _____ °C, Término _____ °C, Média _____ °C
 Pressão barométrica: Início _____ mmHg, Término _____ mmHg, Média _____ mmHg

Observações e condições incomuns:

Assinatura: _____

ANEXO B

PLANILHA DE DADOS COLETADOS

data	amostra	Abs branco	corrigeo	conc calc* W($\mu\text{g/ml}$)	F1	F2	Hor	Hor(fin)	T(min)	V	NO ₂ ($\mu\text{g/m}^3$)	NO ₂ (ppm)
2/5/2007	0,569	0,121	0,448	0,740460319	268,239	274,546	454,12	477,86	1424,4	0,514767477	102,9814587	0,054786136
3/5/2007	0,502	0,109	0,393	0,602112942	274,546	280,445	477,86	501,12	1395,6	0,51287672	83,58880417	0,044469244
7/5/2007	0,593	0,2	0,393	0,602112942	280,445	286,661	501,12	525,11	1439,4	0,537692188	79,31389407	0,042194992
8/5/2007	0,629	0,17	0,459	0,768129795	286,661	292,656	525,11	548,17	1383,6	0,525295501	103,0445048	0,054819677
9/5/2007	0,562	0,182	0,38	0,569412652	292,656	298,935	548,17	571,96	1427,4	0,550684497	72,50649535	0,038573456
10/5/2007	0,55	0,17	0,38	0,569412652	298,935	304,746	571,96	594,89	1375,8	0,53909416	73,71932536	0,039218681
14/5/2007	0,678	0,169	0,509	0,893900138	304,746	311,073	594,89	619,48	1475,4	0,587075676	105,789653	0,056280095
15/5/2007	0,652	0,167	0,485	0,833530374	311,073	317,153	619,48	642,95	1408,2	0,569071927	101,3113809	0,053897655
16/5/2007	0,681	0,178	0,503	0,878807697	317,153	323,198	642,95	666,24	1397,4	0,573179244	105,6019828	0,056180255
17/5/2007	0,653	0,182	0,471	0,798314677	323,198	329,337	666,24	689,93	1421,4	0,591682624	92,5488536	0,04923599
21/5/2007	0,645	0,18	0,465	0,783222236	329,337	335,593	689,93	713,8	1432,2	0,605054373	88,43465039	0,047047234
23/5/2007	0,637	0,151	0,486	0,83604578	340,356	347,004	713,8	735,37	1294,2	0,558878269	101,0558501	0,053761712
28/5/2007	0,621	0,169	0,452	0,750521947	347,004	353,104	735,37	754,12	1125	0,39381075	102,4620133	0,054509791
29/5/2007	0,632	0,172	0,46	0,770645202	353,106	358,239	754,12	777,86	1424,4	0,506619909	81,7822928	0,04350818
30/5/2007	0,635	0,167	0,468	0,790768457	358,239	364,546	777,86	801,12	1395,6	0,504359373	84,29392897	0,04484437
4/6/2007	0,617	0,139	0,478	0,815922525	364,546	370,445	801,12	825,11	1439,4	0,528973023	82,92824126	0,044117824
5/6/2007	0,64	0,159	0,481	0,823468746	370,445	376,661	825,11	848,17	1383,6	0,516847931	85,65868332	0,04557042
6/6/2007	0,611	0,169	0,442	0,725367878	376,661	382,656	848,17	871,96	1427,4	0,541924543	71,96255186	0,038284078
7/6/2007	0,593	0,125	0,468	0,790768457	382,656	388,935	871,96	894,89	1375,8	0,530777449	80,09841648	0,042612358
11/6/2007	0,605	0,158	0,447	0,737944913	388,935	394,746	894,89	919,48	1475,4	0,578121474	68,62650753	0,036509302
12/6/2007	0,624	0,175	0,449	0,742975726	394,746	401,073	919,48	942,95	1408,2	0,560336158	71,2874423	0,037924919
13/6/2007	0,623	0,169	0,454	0,75552761	401,073	407,153	942,95	966,24	1397,4	0,564707506	71,93301969	0,038268366
14/6/2007	0,647	0,143	0,504	0,881323104	407,153	413,198	966,24	989,93	1421,4	0,583023456	81,27110859	0,04323623
25/6/2007	0,657	0,154	0,503	0,878807697	413,198	419,337	989,93	1013,8	1432,2	0,596178314	79,25099686	0,04216153
26/6/2007	0,676	0,159	0,517	0,914023393	419,337	425,593	1013,8	1037,4	1416	0,59821044	82,14674864	0,04370207
27/6/2007	0,658	0,149	0,509	0,893900138	425,593	438,073	1037,4	1061,27	1432,2	0,618471223	77,7063596	0,041339783
28/6/2007	0,646	0,137	0,509	0,893900138	438,073	444,356	1061,27	1085,21	1436,4	0,633760508	75,83171661	0,040342473
18/7/2007	0,582	0,129	0,453	0,753037354	459,256	465,543	1147,61	1171,31	1422	0,657532089	61,57247671	0,032756558
23/7/2007	0,589	0,132	0,457	0,763098981	465,543	471,707	1171,31	1195,71	1464	0,681464916	59,80002966	0,031813616
24/7/2007	0,587	0,136	0,451	0,74800654	471,707	477,904	1195,71	1219,42	1422,6	0,675458304	59,5379539	0,031674191

data	amostra	Abs branco	corrigeo	conc calc* W(µg/ml)	F1	F2	Hor	Hor(fin)	T(min)	V	NO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (ppm)
25/7/2007	0,592	0,128	0,464	0,780706829	477,904	482,958	1219,42	1238,94	1171,2	0,562680787	74,59555471	0,039684835
7/8/2007	0,598	0,138	0,46	0,770645202	482,958	489,117	1238,94	1262,81	1432,2	0,696102907	59,52070777	0,031665017
8/8/2007	0,602	0,133	0,469	0,793283864	489,117	495,302	1262,81	1286,8	1439,4	0,708486354	60,19829434	0,032025493
9/8/2007	0,59	0,137	0,453	0,753037354	495,302	501,424	1286,8	1312,61	1548,6	0,771764942	52,45882139	0,027908093
13/8/2007	0,765	0,129	0,636	1,21335681	501,302	509,259	1312,61	1334,51	1314	0,663938577	98,2534219	0,05227082
14/8/2007	0,783	0,132	0,651	1,251087913	509,259	514,929	1334,51	1358,5	1439,4	0,737108104	91,25227456	0,04854621
15/8/2007	0,652	0,13	0,522	0,926600428	514,929	520,599	1358,5	1381,63	1387,8	0,718552879	69,32993901	0,036883528
29/8/2007	0,73	0,133	0,597	1,115255943	520,599	526,746	1381,63	1405,46	1429,8	0,74874694	80,08045666	0,042602803
10/9/2007	0,636	0,131	0,505	0,883838511	526,746	532,864	1405,46	1429,29	1429,8	0,757515189	62,72903857	0,033371849
11/9/2007	0,788	0,133	0,655	1,261149541	532,864	538,928	1429,29	1452,84	1413	0,757221048	89,54286062	0,047636802
12/9/2007	0,689	0,126	0,563	1,029732109	538,928	545,098	1452,84	1476,86	1441,2	0,781149136	70,87243502	0,037704135
13/9/2007	0,792	0,128	0,664	1,283788203	545,098	551,2	1476,86	1500,65	1427,4	0,782427883	88,21371611	0,046929697
19/9/2007	0,736	0,116	0,62	1,173110301	551,2	557,084	1500,65	1523,83	1390,8	0,770700694	81,83520113	0,043536327
20/9/2007	0,821	0,138	0,683	1,331580933	557,084	563,141	1523,83	1547,68	1431	0,801520988	89,3181512	0,047517256
8/10/2007	0,896	0,143	0,753	1,507659414	563,141	569,013	1547,68	1570,83	1389	0,786280953	103,0890516	0,054843375
9/10/2007	1,252	0,162	1,090	2,355351528	569,013	575,028	1570,83	1594,64	1428,6	0,817188486	154,9603362	0,082438899
10/10/2007	0,917	0,153	0,764	1,535328889	575,028	581,009	1594,64	1618,27	1417,8	0,819514629	100,7237223	0,05358502
16/10/2007	0,676	0,143	0,533	0,954269903	581,009	587,083	1618,27	1642,21	1436,4	0,838923674	61,15554379	0,032534749
17/10/2007	0,821	0,129	0,692	1,354219595	587,083	593,984	1642,21	1666,01	1428	0,843281838	86,33828197	0,045931966
18/10/2007	0,678	0,154	0,524	0,931631241	593,984	599,088	1666,01	1689,82	1428,6	0,85221133	58,77380341	0,031267663
23/10/2007	0,604	0,131	0,473	0,803345491	599,088	605,098	1689,82	1713,65	1429,8	0,860872571	50,17074447	0,026690836
24/10/2007	1,051	0,155	0,896	1,867362596	605,098	611,111	1713,65	1737,57	1435,2	0,872751578	115,0336946	0,061197926
25/10/2007	0,896	0,143	0,753	1,507659414	621,111	627,124	1747,57	1770,57	1380	0,85023318	94,11196753	0,050067567
6/11/2007	1,252	0,121	1,131	2,45848321	627,124	633,137	1770,77	1793,66	1373,4	0,861292102	152,7308463	0,08125281
12/11/2007	0,917	0,116	0,801	1,628398944	633,137	639,15	1793,66	1816,55	1373,4	0,869550356	100,2064625	0,053309838
13/11/2007	0,676	0,131	0,545	0,984454786	639,15	645,163	1816,55	1838,55	1320	0,843678	62,44073638	0,033218472
19/11/2007	0,821	0,131	0,69	1,349188781	645,163	651,176	1838,55	1861,11	1353,6	0,873292637	82,6762634	0,043983772
20/11/2007	0,678	0,131	0,547	0,989485599	651,176	657,189	1861,11	1883,67	1353,6	0,881431834	60,07686558	0,031960892
21/11/2007	0,604	0,131	0,473	0,803345491	657,189	663,202	1883,67	1906,47	1368	0,899034552	47,82233299	0,025441481
22/11/2007	0,751	0,131	0,62	1,173110301	663,202	669,215	1906,47	1929,92	1407	0,933125214	67,28552371	0,035795899

data	amostra	Abs branco	corrigido	conc calc* W(µg/ml)	F1	F2	Hor	Hor(fin)	T(min)	V	NO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (ppm)
26/11/2007	0,827	0,116	0,711	1,402012325	669,215	675,228	1929,92	1953,66	1424,4	0,953229846	78,72171082	0,04187995
28/11/2007	0,793	0,116	0,677	1,316488492	675,228	681,241	1953,66	1976,69	1381,8	0,93303005	75,5229694	0,04017822
29/11/2007	0,471	0,116	0,355	0,506527481	681,241	687,254	1976,69	1999,61	1375,2	0,936842623	28,94083019	0,015396522
3/12/2007	0,785	0,116	0,669	1,296365237	687,254	693,267	1999,61	2022,5	1373,4	0,943874644	73,51980858	0,039112538
4/12/2007	0,73	0,12	0,61	1,147956232	693,267	699,28	2022,5	2045,17	1360,2	0,942981773	65,16730318	0,034669005
5/12/2007	0,636	0,12	0,516	0,911507986	699,28	705,293	2045,17	2068,68	1410,6	0,986404368	49,4685675	0,026317278
6/12/2007	0,55	0,12	0,43	0,695182996	705,293	711,306	2068,68	2092,22	1412,4	0,996155833	37,36040301	0,019875734
10/12/2007	0,616	0,12	0,496	0,861199849	711,306	717,319	2092,22	2114,78	1353,6	0,962823802	47,88642383	0,025475577
12/12/2007	0,53	0,123	0,407	0,637328638	717,319	723,332	2114,78	2138,19	1404,6	1,007546267	33,86640019	0,018016925
13/12/2007	0,492	0,123	0,369	0,541743177	723,332	729,345	2138,19	2161,08	1373,4	0,993424169	29,19741469	0,015533025
17/12/2007	0,604	0,123	0,481	0,823468746	729,345	735,358	2161,08	2183,97	1373,4	1,001682423	44,01670793	0,023416889
18/12/2007	0,752	0,123	0,629	1,195748962	735,358	741,371	2183,97	2206,31	1340,4	0,985673863	64,95638412	0,034556796
19/12/2007	0,599	0,123	0,476	0,810891712	741,371	747,384	2206,31	2228,58	1336,2	0,99061993	43,83138687	0,023318298
20/12/2007	0,545	0,119	0,426	0,685121368	747,384	753,397	2228,58	2251,34	1365,6	1,02062759	35,94543416	0,019122971
26/12/2007	0,646	0,119	0,527	0,939177462	753,397	759,41	2251,34	2274,23	1373,4	1,03471544	48,60535786	0,02585805
21/1/2008	0,79	0,119	0,671	1,301396051	759,41	765,423	2274,23	2296,55	1339,2	1,017001872	68,52654139	0,03645612
22/1/2008	0,418	0,119	0,299	0,365664696	765,423	771,436	2296,55	2318,97	1345,2	1,02964702	19,01862874	0,01011791
23/1/2008	0,616	0,119	0,497	0,863715256	771,436	777,449	2318,97	2341,49	1351,2	1,042364323	44,37606936	0,023608069
24/1/2008	0,68	0,129	0,551	0,999547227	777,449	783,462	2341,49	2364,38	1373,4	1,067748457	50,13548098	0,026672076
28/1/2008	0,693	0,129	0,564	1,032247516	783,462	789,475	2364,38	2387,27	1373,4	1,076006711	51,37981385	0,027334061
29/1/2008	0,674	0,129	0,545	0,984454786	789,475	795,488	2387,27	2409,75	1348,8	1,06484388	49,51606682	0,026342548
11/2/2008	0,592	0,129	0,463	0,778191422	795,488	801,501	2409,75	2433,31	1413,6	1,124501837	37,06594097	0,019719081
12/2/2008	0,64	0,129	0,511	0,898930952	801,501	807,514	2433,31	2457,05	1424,4	1,141658024	42,17463454	0,022436906
25/2/2008	0,58	0,117	0,463	0,778191422	807,514	813,527	2457,05	2480,62	1414,2	1,141986299	36,50048698	0,019418259
3/3/2008	0,69	0,117	0,573	1,054886178	813,527	819,54	2480,62	2504,4	1426,8	1,160740324	48,68055822	0,025898057
4/3/2008	0,539	0,113	0,426	0,685121368	819,54	825,553	2504,4	2527,29	1373,4	1,125556236	32,60596567	0,017346374
5/3/2008	0,636	0,113	0,523	0,929115834	825,553	831,566	2527,29	2550,2	1374,6	1,134805154	43,8588133	0,023332889
6/3/2008	0,783	0,113	0,67	1,298880644	831,566	837,579	2550,2	2573,09	1373,4	1,142072744	60,92495085	0,032412074
10/3/2008	0,706	0,113	0,593	1,105194315	837,579	843,592	2573,09	2595,43	1340,4	1,122690892	52,73626703	0,028055694
26/3/2008	0,572	0,2	0,372	0,549289398	843,592	849,605	2595,43	2617,95	1351,2	1,13986151	25,81613009	0,013734181

data	amostra	Abs branco	corrigido	conc calc* W(µg/ml)	F1	F2	Hor	Hor(fin)	T(min)	V	NO₂(µg/m³)	NO₂(ppm)
27/3/2008	0,634	0,2	0,434	0,705244623	849,605	855,618	2617,95	2640,51	1353,6	1,150025328	32,85377722	0,017478209
31/3/2008	0,658	0,182	0,476	0,810891712	855,618	861,631	2640,51	2663,97	1407,6	1,204367897	36,07176414	0,019190179
1/4/2008	0,549	0,182	0,367	0,536712363	861,631	867,644	2663,97	2686,69	1363,2	1,174575379	24,48133014	0,013024068
14/4/2008	0,583	0,129	0,454	0,755552761	867,644	873,657	2686,69	2709,65	1377,6	1,195266374	33,86763453	0,018017582
15/4/2008	0,782	0,129	0,653	1,256118727	873,657	879,67	2709,65	2733,5	1431	1,250203167	53,83257913	0,028638932
16/4/2008	0,699	0,129	0,57	1,047339957	879,67	885,683	2733,5	2756,73	1393,8	1,226084046	45,76913493	0,02434918
17/4/2008	0,606	0,129	0,477	0,813407119	885,683	891,696	2756,73	2778,99	1335,6	1,182918215	36,844152	0,019601089
22/4/2008	0,631	0,131	0,5	0,871261477	891,696	897,709	2778,99	2801,85	1371,6	1,223050234	38,17063987	0,02030678
23/4/2008	0,657	0,131	0,526	0,936662055	897,709	903,722	2801,85	2824,19	1340,4	1,203289144	41,71074311	0,022190115
24/4/2008	0,545	0,131	0,414	0,654936486	903,722	909,735	2824,19	2846,42	1333,8	1,205384404	29,11509835	0,015489232
28/4/2008	0,702	0,181	0,521	0,924085021	909,735	915,748	2846,42	2869,31	1373,4	1,249430049	39,63274436	0,02108462

APÊNDICE

MÉTODO TGS – ANSA PARA DIÓXIDO DE NITROGÊNIO

Princípio do Método

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é coletado borbulhando-se ar através de uma solução contendo trietanolamina, 0-metoxifenol (guaiacol) e metabisulfeto de sódio (1,2). O íon de nitrito produzido durante a amostragem é determinado colorimetricamente pela reação do reagente absorvente exposto com sulfanilamida e ácido 8-anilino-1-naftalenesulfônico (ANSA).

O método é aplicável à coleta e subsequente análise laboratorial de amostras de 24 horas.

Faixa e Sensibilidade

A lei de Beer é obedecida de 0,025 a 4,0 $\mu\text{g NO}_2/\text{ml}$. A faixa do método, supondo uma taxa de amostragem de 200 cm^3/min em 24 horas, vai de 20 a 700 $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ (0,01 a 0,37 ppm).

A concentração de 0,025 $\mu\text{g NO}_2/\text{ml}$ produzirá uma absorvância de cerca de 0,025 a 550nm utilizando células de 1 –cm.

Amostras que excedam a absorvância do padrão mais alto de calibração devem ser diluídas com reagente de absorção até que a absorvância esteja na faixa do padrão mais alto.

Interferências

O ácido nitroso (HONO) e o anidrido nitroso (N_2O_3) são interferentes positivos.

A uma concentração de dióxido de nitrogênio de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,05 ppm) os seguintes poluentes, não interferem aos níveis indicados: amônia, 205 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,30 ppm); monóxido de carbono, 154.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (135 ppm); formaldeído, 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,60 ppm); óxido nítrico, 734 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,60 ppm); fenol, 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,04 ppm); ozônio, 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,20 ppm); e dióxido de enxofre, 439 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,17 ppm). Portanto sendo apropriado para o uso em coleta de amostras ao longo de rodovias ou localidades de tráfego intenso.

Temperaturas de até 40 °C durante a coleta da amostra não afetam sua recuperação.

Perdas da solução de absorção por evaporação normal durante a amostragem não afetam a recuperação da amostra.

Precisão e Exatidão

Análises de atmosferas com concentrações de 20 a 700 $\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$, obtidas com dispositivos de permeação, resultam num desvio padrão de 2 % e uma recuperação global de 93 %.

Equipamento

SISTEMA DE AMOSTRAGEM. O esquema de um sistema de amostragem é ilustrado na Figura 0.1. O sistema consiste numa mangueira ou tubo, de Teflon, polipropileno ou vidro, tendo acoplado à sua extremidade anterior, um funil, de polipropileno ou vidro, enquanto que à extremidade posterior é conectado um borbulhador. Este borbulhador, cilíndrico, com 164 x 32 mm, é feito de polipropileno e equipado com tampas de polipropileno com dois furos para entrada e saída. Tampas de borracha não devem ser usadas, visto que podem causar altos e oscilantes valores brancos. Um tubo de vidro com ponta afunilada é usado para dispersar o gás.

O tubo, com aproximadamente 8 mm de diâmetro externo e 6 mm de diâmetro interno, deve ter 152 mm de comprimento, tendo a ponta afunilada até 0,3 – 0,6 mm de diâmetro interno. O tubo deve ser posicionado de tal modo que permita uma folga de 6 mm entre sua ponta e o fundo do borbulhador. O trap de umidade consiste num tubo de polipropileno equipado com uma tampa com dois furos. O furo de entrada da tampa é penetrado por uma mangueira que vai até o fundo do trap. A unidade é frouxamente preenchida com lã de vidro para evitar a passagem de gotas procedentes do borbulhador. Entre o trap e o dispositivo de controle da vazão, é inserido um porta-filtro com filtro-membrana com poros de 0,8-2,0 μm para proteger o dispositivo de controle da vazão contra material particulado. O filtro-membrana deve ser trocado a cada 10 amostragens.

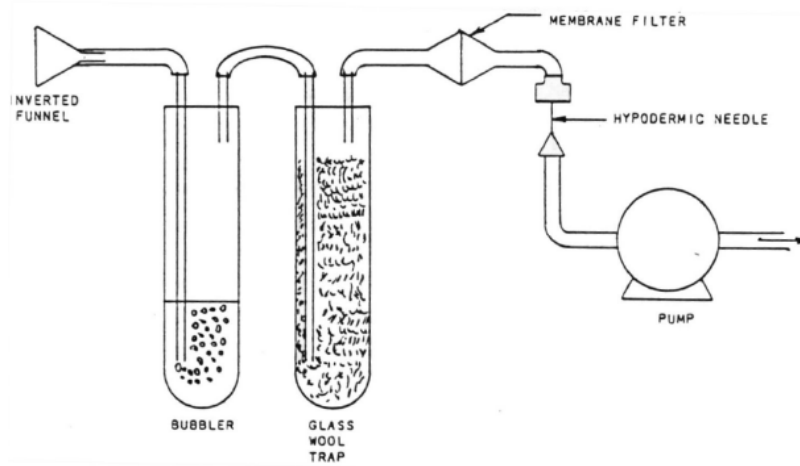


Figura 0.1: Trem de amostragem

Pode ser usado qualquer dispositivo de controle da vazão, capaz de manter um fluxo constante entre 180 e 220 ml/min através da solução de amostragem. Recomenda-se, para dispositivo de controle da vazão, uma agulha hipodérmica de calibre 27, inserida através de uma sede de borracha conectada entre o porta-filtro e uma bomba de vácuo.

A bomba de vácuo deve ser capaz de manter uma pressão diferencial de pelo menos 0,6 a 0,7 de uma atmosfera (61-71 kPa) através do dispositivo de controle da vazão. Esta faixa supera a pressão crítica a jusante para orifícios críticos, ou seja, 53,7 kPa (0,53 atmosferas), assegurando assim um fator de segurança que permita variações na pressão atmosférica.

O equipamento de calibração consiste num medidor de fluxo (fluxômetro) para medir fluxos de ar de até 275 cm³/min dentro de $\pm 2\%$, um cronômetro e um wet test meter (por exemplo, com revolução de 1 L) ou um bolhómetro calibrado.

VIDRARIA DE LABORATÓRIO. Balões volumétricos de 100, 200, 250, 500 e 1.000 ml; pipetas volumétricas de 1, 5, 10, 20 e 50 ml; cilindro graduado de 50 ml; e tubos de teste de 20 x 150 mm.

Um espectrofotômetro adequado para a medição de absorvência a 550 nm.

Reagentes

PUREZA. Todos os produtos químicos devem ter grau Reagente Analítico ACS. A água deve ser água Reagente ASTM, tipo II.

SOLUÇÃO DE ABSORÇÃO. Dissolva 20g de trietanolamina, 0,5g de 0-metoxifenol (guaiacol) e 0,25g de metabisulfito de sódio consecutivamente em 500ml de água. Dilua em água até 1L e agite. Descarte qualquer solução que fique colorida. A solução permanece estável por três semanas, se mantida refrigerada.

PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO. Dilua 0,2 mL de peróxido de hidrogênio 30% em água até 250 mL. Esta solução pode ser usada por um mês, se mantida refrigerada e protegida da luz.

SOLUÇÃO DE SULFANILAMIDA (2% EM 4 N HCl). Dissolva 2,0g de sulfanilamida em 33mL de HCl concentrado, dilua em água até 100mL e agite. Esta solução pode ser usada por duas semanas, se refrigerada.

SOLUÇÃO ANSA (0,1% w/v). Dissolva 0,1g de ANSA em 50 mL de metanol absoluto. Dilua, num balão volumétrico, em metanol absoluto até 100mL. Mantenha o balão tampado a fim de minimizar perdas por evaporação e prepare diariamente. Soluções velhas tendem a deteriorar-se rapidamente e podem resultar em absorbâncias baixas.

SOLUÇÕES PADRÃO DE NITRITO.

Solução Estoque de Nitrito. Dissolva em água uma quantidade suficiente de nitrito de sódio, pré-secado a 105°C por uma hora, e avolume a 1.000mL para obter uma solução contendo 1.000 µg NO₂/mL. A quantidade de NaNO₂ é calculada como segue:

$$G = \frac{1,5}{A} \times 100 \quad \text{Eq. 0.1}$$

onde:

G = quantidade de NaNO₂

1,500 = fator gravimétrico

A = pureza do NaNO₂ em %.

Esta solução é estável por três meses à temperatura ambiente.

Soluções de Trabalho de Nitrito. Dilua 5mL da solução de 1.000 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$ em solução de absorção e avolume a 250mL para obter uma solução intermediária contendo 20 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$. Dilua 5,0mL de solução de trabalho intermediária em solução de absorção e avolume a 200mL . Esta solução contém 0,5 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$. Prepare ambas as soluções diariamente.

Procedimento

COLETA DE AMOSTRAS. Monte um trem como mostrado na Figura 0.1. Os componentes a montante do absorvedor podem ser conectados com mangueira de Teflon ou de polipropileno; com tubos de vidro com juntas esféricas secas (sem graxa); ou com tubos de vidro conectados por mangueira de Tygon, Teflon ou polipropileno. Ponha 50mL de solução de absorção no borbulhador.

Desconecte o funil, conecte o fluxômetro calibrado, meça a vazão antes do início da amostragem e registre como F_1 . Se a vazão antes da amostragem não estiver entre 180 e 200 cm^3/min , substitua o dispositivo de controle de vazão e/ou cheque se há vazamentos no sistema. Dê início à amostragem somente quando obtiver uma vazão dentro dessa faixa.

Amostre por 24 horas. Anote o tempo da amostragem em minutos como T.

Meça a vazão após o período de amostragem e anote como F_2 .

Tampe as amostras coletadas e transporte-as para análise no laboratório.

ANÁLISE NO LABORATÓRIO.

Reponha qualquer perda de água por evaporação durante a amostragem adicionando água destilada até a marca de calibração no absorvedor. Agite bem.

Pipete 10mL da amostra coletada num tubo, adicione 0,5mL da solução de peróxido e agite. Após 15s, adicione 2,7mL de solução de sulfanilamina. Após cerca de 30s e dentro de 6min da mistura da solução de sulfanilamina, adicione 3mL de solução ANSA e agite. Outros intervalos de tempo poderão resultar em valores de absorbância mais baixos.

Prepare um branco da mesma maneira que para a amostra, usando 5mL de solução de absorção não exposta. A absorbância do branco deve ser aproximadamente a mesma que o intercepto-y na curva de calibração (curva padrão) descrita mais a frente.

Leia a absorbância a 550nm contra o branco na célula de referência, usando células de 1cm. A cor pode ser lida a qualquer momento no intervalo de 10 a 40min após a adição de solução ANSA.

Os reagentes usados neste procedimento podem resultar na formação de película nas células do espectrofotômetro. Entretanto, as células devem ser limpas completamente após cada série de análises.

Calibração e Padronização

CALIBRAÇÃO DO FLUXÔMETRO. São determinadas vazões de ar (cm^3/min) através do fluxômetro em quatro diferentes posições da esfera, utilizando-se um wet test meter ou um outro dispositivo para medição da vazão.

CALIBRAÇÃO DO TUBO DE ABSORÇÃO. calibre o tubo de absorção de polipropileno, primeiramente pipetando 50 mL de água ou reagente de absorção no absorvedor. Marque o nível do menisco com um objeto pontiagudo e escureça a área com uma caneta de ponta de feltro, à prova d'água, removendo o excesso.

PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO PADRÃO. Pipete os volumes indicados (Tabela 0.1) de solução de trabalho em balões volumétricos separados e dilua até a marca em solução de absorção.

Tabela 0.1: Preparação dos padrões

Volume de Solução de trabalho e concentração	Encha até mL	Concentração $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$
10mL de 0,5 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$	100	0,05
20mL de 0,5 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$	100	0,10
40mL de 0,5 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$	100	0,20
100mL de 0,5 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$	100	0,50
5mL de 20 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$	100	1,00
10mL de 20 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$	100	2,00

Pegue 5,0 mL de cada padrão preparado e desenvolva cor como especificado no item ANÁLISE NO LABORATÓRIO.

CURVA PADRÃO. Plote, em papel milimetrado, as absorvâncias na ordenada versus as concentrações correspondentes na abscissa. Alternativamente, utilize regressão linear pela técnica dos mínimos quadrados para obter a curva na forma de uma reta. Linearidade é obtida até 4 $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$ com uma inclinação aproximada de 0,5.

cálculos

Volume de ar amostrado, V (m^3). Utilizar a seguinte fórmula:

$$V = \frac{F_i + F_f}{2} \times t_s \times 10^{-6} \quad \text{Eq. 0.2}$$

onde:

F_1 = vazão no início da amostragem, em cm^3/min

F_2 = vazão no término da amostragem, em cm^3/min

t_s = tempo da amostragem, em min

10^{-6} = fator de conversão de cm^3 para m^3

O volume de ar amostrado não é corrigido para condições de temperatura e pressão de referência por causa da incerteza destas condições durante o período de 24 horas.

Concentração de dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$). Usa-se a seguinte fórmula:

$$\mu\text{gNO}_2 / \text{m}^3 = \frac{W \times 50}{V \times 0,93} \quad \text{Eq. 0.3}$$

onde:

W = $\mu\text{g NO}_2/\text{mL}$ (obtido a partir da curva de calibração)

50 = volume total da solução de amostragem

V = volume de ar amostrado, em m^3

0,93 = eficiência global do método

se desejado, a concentração de dióxido de nitrogênio pode ser calculada, em termos de ppm, usando a seguinte fórmula:

$$\text{ppm NO}_2 = (\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3) \times 5,32 \times 10^{-4} \quad \text{Eq. 0.4}$$

onde: $5,32 \times 10^{-4}$ = fator de conversão de $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ para ppm NO_2 (vol).

Efeito de Armazenagem

As amostras coletadas são estáveis por três semanas, se mantidas refrigeradas.