

CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

**Autores: Henrique de Melo Lisboa
Mauricy Kawano**

CAPÍTULO IV

MONITORAMENTO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS



SUMÁRIO:

4.1	INTRODUÇÃO	2
4.2	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	2
4.3	INDICE DE QUALIDADE DO AR	8
4.4	PADRÕES DE EMISSÃO	13
4.4.1	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 08/1990	14
4.4.2	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 264/1999	15
4.4.3	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 316/2000	16
4.4.4	PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 382/2006	17
4.4.5	PADRÕES DE EMISSÃO DA RESOLUÇÃO SEMA PR 054/2006	19
4.5	METODOLOGIAS E EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO	22
4.5.1	Amostradores passivos	23
4.5.2	Amostradores ativos	24
4.5.3	Analisadores automáticos	35
4.5.4	Sensores remotos	38
4.5.5	Biomonitoramento	49
4.6	O SISTEMA DE MONITORAMENTO DA CIDADE DE SÃO PAULO	52
4.7	AMOSTRADOR ISOCINÉTICO – MEDIÇÃO DE FONTES ESTACIONÁRIAS	55
4.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXO 1	60
	ANEXO 2	64
	ANEXO 3	70

4.1 INTRODUÇÃO

Quando ocorre alteração e degradação do ar, comprometem-se os processos fotossintéticos e prejudica-se a vegetação terrestre e aquática; são agredidos os ciclos do nitrogênio, oxigênio e carbono, ocasionando mudanças climáticas; há uma diminuição da intensidade da luz; a água e o solo mostram-se afetados; prejudicando a saúde do homem e dos animais.

Principalmente nas grandes cidades, onde os efeitos se mostram nefastos, já se determinou que a poluição atmosférica contribui para inúmeras patologias, além de contribuir sensivelmente para o incremento da taxa de mortalidade. Para complicar ainda mais o problema, a poluição atmosférica é transfronteiriça, de forma que o próprio vento cuida de espalhá-la a grandes distâncias da sua fonte.

Quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera mede-se o grau de exposição dos receptores (seres humanos, outros animais, plantas, materiais) como resultado final do processo de lançamento deste poluente na atmosfera por suas fontes de emissão e suas interações na atmosfera, do ponto de vista físico (diluição) e químico (reações químicas).

É importante frisar que, mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função basicamente das condições meteorológicas que determinam uma maior ou menor diluição dos poluentes. É por isso que a qualidade do ar piora durante os meses de inverno, quando as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes. A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina por sua vez o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores.

Os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são:

- fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica quando os níveis de poluentes na atmosfera possam representar risco à saúde pública;
- avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas;
- acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas a alterações nas emissões dos poluentes.

Para atingir estes objetivos, torna-se necessária a fixação de padrões de qualidade do ar.

O monitoramento da poluição do ar envolve a medição da poluição nas escalas de tempo e espaço. Uma vez identificados os poluentes prioritários, os equipamentos de medição (monitores) devem ser capazes de garantir que os dados gerados atendam aos objetivos do monitoramento e, principalmente, possam ser comparados com os padrões legais de qualidade do ar (Senai (2002)). Neste capítulo serão abordados os padrões de qualidade do ar exigidos para determinadas substâncias e os métodos utilizados para o monitoramento remoto dos mesmos.

4.2 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

O nível de poluição do ar é medido pela quantificação das substâncias poluentes presentes neste ar. Considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que pela sua concentração

possa torná-lo 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.

A determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por problemas de ordem prática, limitada a um restrito número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis. De uma forma geral, a escolha recai sempre sobre um grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, consagrados universalmente: dióxido de enxofre (SO₂), poeira em suspensão, monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂). A razão da escolha destes parâmetros como indicadores de qualidade do ar está ligada à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente

Poluentes padrões: são os poluentes que ocorrem com grande frequência, sendo danosos à saúde e ao bem estar geral da população, além de comumente causarem danos a outros receptores. São controlados através de padrões de qualidade do ar.

Um padrão de qualidade do ar define legalmente as concentrações máximas de um componente gasoso presente na atmosfera de modo a garantir a proteção da saúde e do bem estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são estabelecidos em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Através da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90 e da Resolução CONAMA nº 003 de 28/06/90 o IBAMA estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar – ver Anexo 1. No Brasil: são estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários.

Os **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 meta de curto e médio prazo.

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

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Deve ser aplicado a áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc). Como prevê a própria Resolução CONAMA nº 003 de 28/06/90 (texto em anexo) a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido (ver Figura 4. 1).

A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas os padrões aplicáveis serão os primários. A princípio, conforme previsto na resolução, serão aplicáveis apenas os padrões primários. São poluentes padronizados no Brasil:

- partículas totais em suspensão;
- fumaça;
- dióxido de enxofre (SO₂);
- partículas inaláveis;
- monóxido de carbono (CO);
- ozônio (O₃);
- dióxido de nitrogênio.

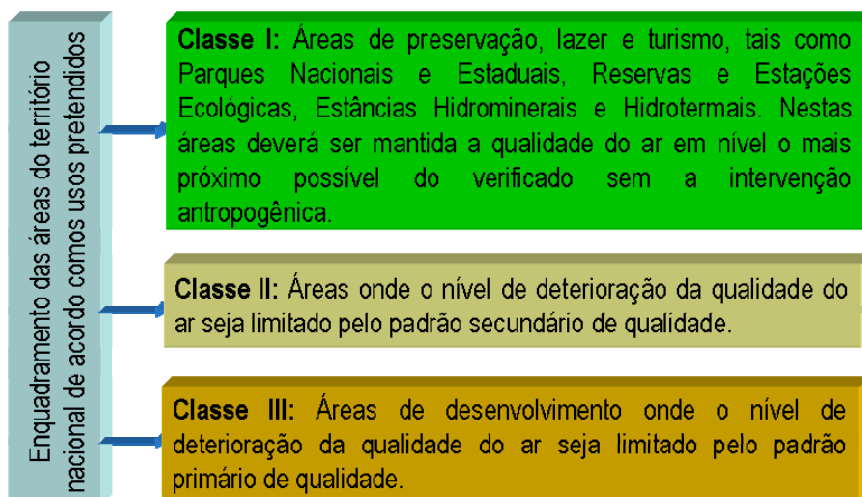


Figura 4. 1 – Classificação das áreas do território nacional pelo CONAMA 05/1989.

Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA n.3 de 28/06/90 são apresentados na Tabela 4. 1.

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽⁴⁾	PADRÃO SECUNDÁRIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽⁴⁾	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	24 horas ⁽¹⁾	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA ⁽²⁾	80	60	
Dióxido de Enxofre	24 horas ⁽¹⁾	365	100	Pararosanilina
	MAA ⁽³⁾	80	40	
Monóxido de Carbono	1 hora ⁽¹⁾	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas ⁽¹⁾	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora ⁽¹⁾	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas ⁽¹⁾	150	100	Refletância
	MAA ⁽³⁾	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas ⁽¹⁾	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA ⁽³⁾	50	50	
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ⁽¹⁾	320	190	Quimiluminescência
	MAA ⁽³⁾	100	100	

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

(2) Média geométrica anual (MGA).

(3) Média aritmética anual (MAA).

(4) A condição de referência para as concentração é de 25°C e pressão de 760 mmHg (1.013,2 milibares).

Tabela 4. 1 - Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA n.3 de 28/06/90)

A resolução do CONAMA 03/1990 estabelece também os níveis de qualidade do ar para elaboração do Plano de Emergência para **Episódios Críticos de Poluição do Ar** (ver **Tabela 4. 2**), visando providência dos governos de Estado e dos Municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde à saúde da população.

Tabela 4. 2 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)

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

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

** O nível de emergência de ozônio declarado pela CETESB, com base na legislação Estadual de SP, é menos restritivo ($1200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

De acordo com a resolução do CONAMA 03/1990:

- O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos Estados;
- Constitui-se Método de Referência os métodos aprovados pelo INMETRO e na ausência deles os recomendados pelo IBAMA como os mais adequados e que deva ser utilizado preferencialmente. Poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA;
- Considera-se **Episódio Crítico de Poluição do Ar** a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos;
- São estabelecidos os Níveis de **Atenção**, **Alerta** e **Emergência**, para a execução do Plano de Emergência;
- Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações dos poluentes relacionados na **Tabela 4. 2** bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados;
- As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de **Atenção** e de **Alerta** tem por objetivo evitar que se atinja o Nível de Emergência;
- Os níveis de **Atenção**, **Alerta** e **Emergência** são declarados quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições relacionadas na **Tabela 4. 2**;
- Cabe aos Estados a competência para indicar as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis, devendo as declarações efetuarem-se por qualquer dos meios usuais de comunicação de massa;
- Durante a permanência dos níveis (Atenção, Alerta ou Emergência) as fontes de poluição do ar ficam, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental.

No Brasil, nos anos 80-90 diversos estados de emergência foram decretados em Cubatão - SP (Figura 4. 2 e 4. 3)

Nas Tabela 4. 3 e

Tabela 4. 4 são apresentados os níveis de referência internacionais, ou seja, os padrões de qualidade do ar adotados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América e os níveis recomendados pela Organização Mundial da Saúde para os principais poluentes.

Poluição atinge estado de Atenção no centro de SP

Da Reportagem Local

A Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), decretou ontem estados de Atenção nas estações da Praça do Correio, Diadema e Vila Paulicéia (Cubatão). Segundo Roberto Godinho, gerente de Qualidade do Ar da Cetesb, as atuais condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes na atmosfera deverão permanecer hoje. Godinho espera que a situação "melhore a partir de amanhã, quando está prevista a chegada de uma frente fria procedente do Rio Grande do Sul". A previsão do tempo para hoje do 7º Distrito de Meteorologia do Ministério da Agricultura, é de tempo bom e possibilidade de ventos fortes. Na capital a temperatura deverá oscilar entre 13 e 30 graus.

Figura 4. 2 - Folha SP 25 08 88



Figura 4. 3 - Folha SP 04 07 1991

Tabela 4.3 - Padrões de qualidade do ar adotados pela EPA – EUA

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO (µg/m³)	MÉTODO DE MEDIÇÃO
dióxido de enxofre	24 h	365	Pararosanilina
	Média Aritmética Anual	80	
partículas inaláveis (MP 10)	24 h	150	Separação Inercial/Filtro Gravimétrico
	Média Aritmética Anual	50	
monóxido de carbono	1 h	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não Dispersivo
	8 h	10.000 (9 ppm)	
ozônio	1 h	235 (0,12 ppm)	Quimiluminescência
hidrocarbonetos (menos metano)	3 h (6h às 9h)	160 (0,24 ppmC)	Cromatografia gasosa/ionização de chama
dióxido de nitrogênio	Média Aritmética Anual	100	Quimiluminescência
chumbo	Média Aritmética Trimestral	1,5	Absorção Atômica

Tabela 4.4 - Níveis recomendados pela Organização Mundial da Saúde para os principais poluentes.

POLUENTES	TEMPO DE AMOSTRAGENS		MÉDIA ARITMÉTICA ANUAL
	1 h	24 h	
fumaça	---	100 - 150	40 - 60
partículas totais em suspensão	---	150 - 230	60 - 90
dióxido de enxofre	---	100 - 150	40 - 60
ozônio	100 - 200	---	---
dióxido de nitrogênio	190 - 320	---	---

Unidade = µg/m³

4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR

Os dados de qualidade do ar obtidos pela CETESB são divulgados diariamente para a imprensa, juntamente com uma previsão meteorológica das condições de dispersão dos poluentes para as próximas 24 horas. Para simplificar o processo de divulgação dos dados é utilizado um índice de qualidade do ar.

O índice de qualidade do ar vem sendo usado, pela CETESB, desde 1981. Este índice foi concebido com base no “*PSI – Pollutant Standards Index*”, cujo desenvolvimento se baseou numa experiência acumulada de vários anos nos Estados Unidos e Canadá. Este índice foi desenvolvido pela EPA a fim de padronizar a divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação.

A estrutura do índice de qualidade do ar contempla, conforme Resolução CONAMA n.3 de 28/06/90, os seguintes parâmetros: dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio.

Para cada poluente medido é calculado um valor índice e correlacionado com a qualidade do ar (veja fluxograma da Figura 4. 4). Para efeito de divulgação é utilizado o índice mais elevado de uma estação, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso.

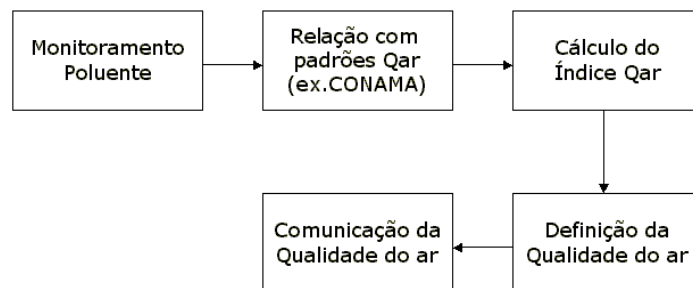


Figura 4. 4 – Obtenção do Índice de qualidade do ar.

O valor do índice é calculado pela equação abaixo, descrita por Kiely (1996):

$$\text{Índice} = \text{Índice}_{\text{inicial}} + \left(\frac{\text{Índice}_{\text{final}} - \text{Índice}_{\text{inicial}}}{\text{Conc.}_{\text{final}} - \text{Conc.}_{\text{inicial}}} \right) \times (\text{Conc.}_{\text{medida}} - \text{Conc.}_{\text{inicial}})$$

Onde:

Índice – índice de qualidade do ar desejado;

Conc._{medida} – concentração medida;

Conc._{inicial} - concentração inicial da faixa onde encontra-se a concentração medida;

Conc._{final} – concentração final da faixa onde encontra-se a concentração medida;

Índice_{inicial} – valor do índice correspondente à Conc._{inicial} ;

Índice_{final} – valor do índice correspondente à Conc._{final}.

Depois de calculado o valor do índice, o ar recebe uma qualificação, feita conforme a Tabela 4. 5.

Tabela 4. 5 - Índice de Qualidade do Ar - CETESB

INDICE	QUALIDADE DO AR
0 – 50	BOA
51 – 100	REGULAR
101 – 199	INADEQUADA
200 – 299	MÁ
300 – 399	PÉSSIMA
> 400	CRÍTICA

O índice de qualidade do ar é obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar (ver Figura 4. 5). Desta função, que realciona a concentração do poluente com o valor índice, resulta um número adimensional, referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar. Ver também a Tabela 4. 6.

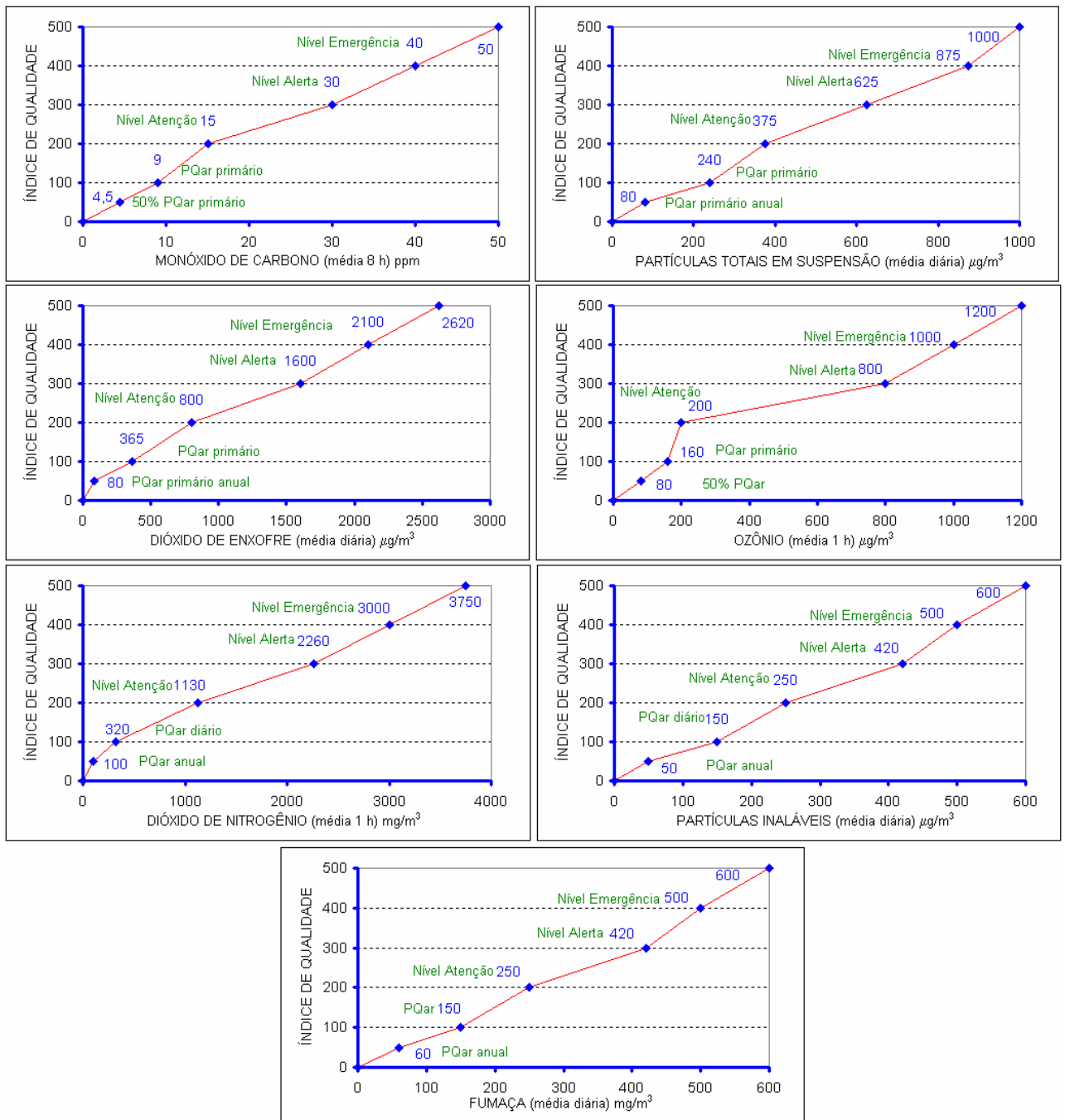


Figura 4.5 – Funções lineares para calculo do índice de qualidade do ar da CETESB

Índice	Nível de Qualidade do Ar	Qualificação/Índice	SO ₂ Média 24 h µg/m ³	PTS Média 24 h µg/m ³	Produto Média 24 h µg/m ³	PI Média 24 h µg/m ³	Fumaça Média 24 h µg/m ³	CO Média 8 h ppm	O ₃ Média 1 h µg/m ³	NO ₂ Média 1 h µg/m ³	Descrição dos Efeitos Sobre a Saúde
0											
50	50% PQAR	Boa (0 - 50) Regular (51 - 100)	80(a)	80(a)		50(a)	60(a)	4,5	80	100(a)	
100	PQAR	Inadequada (101 - 199)	365	240		150	150	9,0	160	320	Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis, com sintomas de irritação na população sadia.
200	ATENÇÃO		800	375	65.000	250	250	15,0	200*	1130	Decréscimo da resistência física, e significativo agravamento dos sintomas em pessoas com enfermidades cardíaco-respiratórias. Sintomas gerais na população sadia.
300	ALERTA	Má (200 - 299)	1600	625	261.000	420	420	30,0	800	2260	Aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento de sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis.
400	EMERGÊNCIA	Péssima (300 - 399)	2100	875	393.000	500	500	40,0	1000	3000	Morte prematura de pessoas doentes e pessoas idosas. Pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua sua atividade normal.
500	CRÍTICO	Crítica (> 400)	2620	1000	490.000	600	600	50,0	1200	3750	

SO₂ - dióxido de enxofre
 PTS - partículas totais em suspensão
 PI - partículas inaláveis
 CO - monóxido de carbono
 O₃ - ozônio
 NO₂ - dióxido de nitrogênio
 PQAR - padrão de qualidade do ar
 (a) - PQAR anual

* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na legislação Estadual que é mais restritiva (200 µg/m³).

Tabela 4.6 - Estrutura do índice de qualidade do ar

COMO SÃO ESTABELECIDOS OS PADRÕES DE QUALIDADE

Os pesquisadores observam os efeitos que os poluentes podem ter sobre a saúde humana, incluindo-se os danos ao ambiente e fixam um número indicador de que a saúde não está sendo gravemente afetada. Esses números ou padrões, são definidos por pesquisadores levando-se em conta os valores culturais da sociedade e os conhecimentos científicos que existem, com a viabilidade econômica e política de se implantar um determinado número ou condição.

Em todos os países, estes níveis de referência, ou valores, ou ainda padrões de qualidade tem mudado com o decorrer dos anos.

Os padrões tem sido mais rígidos, ou menos, de acordo com a riqueza do país, e a correlação das forças políticas e interesses dos envolvidos na discussão e fixação destes padrões: os industriais, os empresários, os moradores, partidos políticos, sindicatos, técnicos, legisladores, governo e outros.

CONSTITUIÇÃO BRASILEIRA/1988

O capítulo dedicado exclusivamente a este tema estabelece o direito da população de viver em um ambiente ecologicamente equilibrado; caracteriza como crime toda ação lesiva ao meio ambiente; determina a exigência de que todas as unidades da Federação tenham reserva biológica ou parque nacional e todas as indústrias potencialmente poluidoras apresentem estudos sobre os danos que podem causar ao meio ambiente.

A Tabela 4. 7 apresenta um pequeno histórico cronológico dos requisitos legais em nível nacional relacionados com o tema poluição atmosférica .

Tabela 4. 7 - Resumo de requisitos legais sobre poluição atmosférica no Brasil.

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

Um apanhado das leis ambientais do Brasil pode ser encontrado na forma de Compact Disk ou via internet, junto ao Ministério do Meio Ambiente.

LEGISLAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA

- Seção III Proteção Atmosférica¹:
- Art. 26 - Proíbe os incineradores domiciliares e prediais.
 - Art. 28 - Padrões de qualidade.
 - Art. 30/31 - Padrões de emissão.

Seção IV Controle de sons e ruídos.

Observação: A legislação catarinense não assimilou ainda as modificações previstas na Resolução CONAMA 003/junho/1990.

4.4 PADRÕES DE EMISSÃO

PADRÕES DE EMISSÃO² são valores máximos de emissão permissíveis de serem lançados na atmosfera por fontes potencialmente poluidoras. Se não especificado diferente, o padrão de emissão é expresso em forma de uma concentração gravimétrica (mg/Nm³) e se refere às condições 1013 mbar, 0°C e base seca. Se é definida a condição referencial de Oxigênio, a fórmula para converter a concentração medida para condição referencial de Oxigênio a ser utilizada é apresentada abaixo, não sendo aplicável quando ocorrer a injeção de oxigênio puro no processo:

$$C_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} O_M$$

onde:

C_R: concentração corrigida para condições referenciais em mg/Nm³ ou ppmv

O_R: concentração referencial de Oxigênio em % por volume

O_M: concentração medida de Oxigênio em % por volume

C_M: concentração medida em mg/Nm³ ou ppmv

Diferentemente dos padrões de qualidade do ar (para ar ambiente), padrões de emissão podem ser impostos para as mais diversas atividades industriais - Figura 4. 6.

Tipo de indústria e poluente	Padrões de emissão
• Fábricas de cimento Portland / Particulados	0,05 kg/ton de matéria-prima no forno
• Incineradores de lixo	
Particulados	24 mg/Nm ³ para 7% de oxigênio
Cádmio-Cd	0,020 mg/Nm ³ para 7% de oxigênio
Chumbo- Pb	0,20 mg/Nm ³ para 7% de oxigênio
Mercúrio - Hg	0,08 mg/Nm ³ para 7% de oxigênio
SO ₂	30 ppm para 7% de oxigênio
HCL	25 ppm para 7% de oxigênio
• Fábricas de polpa de celulose pelo processo Kraft.	
Particulados nos gases do forno de recuperação.	0,10 g/Nm ³ para 8% O ₂
Enxofre total reduzido nos digestores.	5 ppm em volume

Figura 4. 6 – Exemplo de padrão de emissão.

¹ GAPLAN/FATMA - Legislação ambiental do estado de SC. Pág 21, 1981.

² Segundo a Resolução 54/2006 SEMA-IAP-PR

4.4.1 PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 08/1990

Considerando a necessidade do estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) em fontes fixas de poluição, como prevê o PRONAR e considerando que, entre toda a tipologia industrial, os processos de combustão externa constituem-se no maior contingente de fontes fixas de poluentes atmosféricos foi estabelecida a resolução do CONAMA nº 08 de 06 de dezembro de 1990.

A resolução do CONAMA nº 08/1990 estabelece, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW (megawatts) e superiores.

De acordo com a resolução do CONAMA 08/1990 ficam definidos os limites máximos de emissão (ver Tabela 4. 8) para partículas totais, dióxido de enxofre (SO₂) e densidade colorimétrica, considerando classificação de usos pretendidos definidas CONAMA 05/1990. Os limites para partículas totais e dióxido de enxofre são expressos em forma de fator de emissão (peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível).

Tabela 4. 8 - Padrões de emissão segundo Resolução CONAMA 08/90.

POTÊNCIA	ÁREAS CLASSE	PARÂMETRO	LIMITES MÁX. DE EMISSÃO		OBSERVAÇÃO
			Óleo combustível	Carvão mineral	
< 70 MW	I *	Partículas Totais SO ₂ Densidade colorimétrica	120 g/10 ⁶ kcal 2000 g/10 ⁶ kcal Máx. 20% **	--- --- ---	Em áreas atmosféricamente preservadas fica proibida atividade que gere poluição do ar
	II e III	Partículas Totais SO ₂ Densidade colorimétrica	350 g/10 ⁶ kcal 5000 g/10 ⁶ kcal Máx. 20% **	1500 g/10 ⁶ kcal 5000 g/10 ⁶ kcal Máx. 20% **	---
> 70 MW	I	---	---	---	Proibida a instalação de fontes > 70 MW
	II e III	Partículas Totais SO ₂ Densidade colorimétrica	120 g/10 ⁶ kcal 2000 g/10 ⁶ kcal Máx. 20% **	800 g/10 ⁶ kcal 2000 g/10 ⁶ kcal Máx. 20% **	---

* Áreas a serem atmosféricamente conservadas (lazer, turismo, estâncias climáticas, hidrominerais e hidrotermais)

** Exceto na operação de ramagem e na partida do equipamento.

Segundo a resolução do CONAMA 08/1990:

- Para fontes <70 MW instaladas em área Classe I atmosféricamente conservadas, o limite de consumo de óleo combustível por fonte fixa, (correspondente à capacidade nominal total do(s) equipamento(s)), será de 3.000 toneladas por ano. Consumos de óleo superiores ou o uso de outros combustíveis estarão sujeitos à aprovação do órgão Estadual do Meio Ambiente por ocasião do licenciamento ambiental.
- Para outros combustíveis, exceto óleo combustível e carvão mineral, cabe aos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente o estabelecimento de limites máximos de emissão para partículas totais, dióxido e enxofre e, se for o caso, outros poluentes, quando do licenciamento ambiental do empreendimento;
- Cabe aos órgãos Estaduais de Meio Ambiente propor aos governos de seus respectivos Estados o enquadramento de suas áreas Classe I e III, conforme já previsto na Resolução CONAMA 05/1989.

4.4.2 PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 264/1999

Considerando a necessidade de serem definidos procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, foi estabelecida a resolução do CONAMA nº 264 de 26 de agosto de 1999.

De acordo com esta resolução o co-processamento de resíduos em fornos de clínquer deverá observar os limites máximos de emissão atmosférica apresentados na Tabela 4. 9.

Tabela 4. 9 - Limites Máximos de Emissão para co-processamento de resíduos em fornos de clínquer.

Poluente	Limites Máximos de Emissão
HCL	1,8kg/h ou 99% de redução
HF	5 mg/Nm ³ , corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
CO*	100 ppmv, corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
MP	70 mg/Nm ³ farinha seca, corrigido a 11% de O ₂ (base seca)
THC (expresso como propano)	20 ppmv, corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Mercúrio (Hg)	0,05 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Chumbo (Pb)	0,35 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Cádmio (Cd)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
Tálio (Tl)	0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
(As+Be+Co+Ni+Se+Te)	1,4 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)
(As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn)	7,0 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca)

* As concentrações de CO na chaminé não poderão exceder a 100 ppmv em termo de média horária. O limite de 100 ppmv poderá ser exercido desde que os valores medidos de THC não excedam a 20 ppmv, em termos de média horária e que não seja ultrapassado o limite superior de CO de 500 ppmv, corrigido a 7% de O₂ (base seca), em qualquer instante.

Segundo o CONAMA nº 264/1999:

- Os limites de emissão dos poluentes poderão ser mais restritivos, a critério do Órgão Ambiental local, em função dos seguintes fatores: capacidade de dispersão atmosférica dos poluentes, considerando as variações climáticas e de relevo locais; ou a intensidade de ocupação industrial e os valores de qualidade de ar da região;
- Os limites de emissão para os parâmetros SO_x e NO_x deverão ser fixados pelos Órgãos Ambientais competentes considerando as peculiaridades regionais;
- Os relatórios de auto-monitoramento serão encaminhados ao Órgão Ambiental competente de acordo com a frequência solicitada;
- Deverão ser monitorados de forma contínua os seguintes parâmetros: pressão interna, temperatura dos gases do sistema forno e na entrada do precipitador eletrostático, vazão de alimentação do resíduo, material particulado (através de opacímetro), O₂, CO, NO_x e/ou THC quando necessário;

- Deverão ser monitoradas, de forma não contínua, os seguintes parâmetros: SO_x, PCOPs, HCl/Cl₂, HF, elementos e substâncias inorgânicas listados nos arts. 28, 29 e 30 desta Resolução.
- O monitoramento ambiental da área de entorno deverá ser definido caso a caso, com base na avaliação de riscos à saúde humana, ao meio ambiente e os decorrentes de emissões não acidentais.

4.4.3 PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 316/2000

Esta resolução dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, isto é, disciplina os processos de tratamento térmico de resíduos e cadáveres, estabelecendo procedimentos operacionais, limites de emissão (ver Tabela 4. 10^{A-B}) e critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes, de modo a minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde pública, resultantes destas atividades. Esta resolução não se aplica co-processamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, o qual deverá seguir a Resolução CONAMA específica nº 264/1999, salvo a disposição sobre dioxinas e furanos, que deverá obedecer esta resolução.

Tabela 4. 10^A - Limites Máximos de Emissão para sistema de tratamento térmico.

Poluente atmosférico	Limite máximo de emissão
I - material particulado (MP) total	70 mg/Nm ³
II - substâncias inorgânicas na forma particulada, agrupadas em conjunto como classe I, II ou III	
a) Classe 1: 1. cádmio e seus compostos, medidos como cádmio (Cd); 2. mercúrio e seus compostos, medidos como mercúrio (Hg); 3. tálio e seus compostos, medidos como tálio (Tl);	0,28 mg/Nm ³
b) Classe 2: 1. arsênio e seus compostos, medidos como arsênio (As); 2. cobalto e seus compostos, medidos como cobalto (Co); 3. níquel e seus compostos, medidos como níquel (Ni); 4. telúrio e seus compostos, medidos como telúrio (Te); 5. selênio e seus compostos, medidos como selênio (Se);	1,4 mg/Nm ³
c) Classe 3: 1. antimônio e seus compostos, medidos como antimônio (Sb); 2. chumbo e seus compostos, medidos como chumbo (Pb); 3. cromo e seus compostos, medidos como cromo (Cr); 4. cianetos facilmente solúveis, medidos como Cianetos (CN); 5. cobre e seus compostos, medidos como cobre (Cu); 6. estanho e seus compostos medidos como estanho (Sn); 7. fluoretos facilmente solúveis, medidos como flúor (F); 8. manganês e seus compostos, medidos como manganês (Mn); 9. platina e seus compostos, medidos como platina (Pt); 10. paládio e seus compostos, medidos como paládio (Pd); 11. ródio e seus compostos medidos como ródio (Rh); 12. vanádio e seus compostos, medidos como vanádio (V).	7 mg/Nm ³

Tabela 4. 11^B - Limites Máximos de Emissão para sistema de tratamento térmico.

Poluente atmosférico	Limite máximo de emissão
III. Gases	
1. óxidos de enxofre	280 mg/Nm ³ (medidos como SO ₂)
2. óxidos de nitrogênio	560 mg/Nm ³ (medidos como NO ₂)
3. monóxido de carbono	100 ppm
4. compostos clorados inorgânicos	80 mg/Nm ³ , até 1,8kg/h (medidos como HCl)
5. compostos fluorados inorgânicos	5 mg/Nm ³ (medidos como HF)
6. Dioxinas e Furanos (dibenzo-p-dioxinas e dibenzo-p-furanos, expressos em TEQ (total de toxicidade equivalente) da 2,3,7,8 TCDD (tetracloro-dibenzo-para-dioxina))	0,50 ng/Nm ³

4.4.4 PADRÕES DE EMISSÃO DO CONAMA 382/2006

O Diário Oficial da União publicou em 02/01/2007, resolução³ do Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente que define limites máximos para a emissão de poluentes por equipamentos, instalações ou processos de produção fixados em lugar específico, chamados fontes fixas. A resolução estabelece uma base de referência nacional nas emissões de poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, monóxido de carbono e material particulado. Além disso, instrumentaliza os órgãos ambientais para aprimorar o controle desse tipo de poluição. A proposta pretende compatibilizar desenvolvimento econômico-social com preservação do meio ambiente, do equilíbrio ecológico e da saúde humana.

Com a aprovação da resolução, as emissões geradas nos processos de combustão externa de óleo combustível, de gás natural, de bagaço de cana-de-açúcar e de derivados da madeira serão limitadas. Também haverá limites para emissão de poluentes provenientes das turbinas a gás para geração elétrica e de processos de refinarias de petróleo. O mesmo acontecerá para as emissões geradas a partir da fabricação de celulose, da fusão secundária de chumbo, da indústria de alumínio primário, dos fornos de fusão de vidro, da indústria do cimento portland, da produção de fertilizantes, de ácido fosfórico, de ácido sulfúrico e de ácido nítrico. Os limites também serão aplicados aos poluentes gerados por indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas e usinas de pelotização de minério de ferro.

A resolução ainda permite que sejam estabelecidos limites para novas fontes fixas, a partir da revisão dos tipos de fontes e poluentes. Ela também define padrões mais rígidos na concessão de licenças para empresas que atuam em setores onde há geração de emissões de chumbo, que trabalham com celulose, e para indústrias siderúrgicas

De acordo com o artigo 1º do CONAMA 382/2006 os limites máximos de emissão são fixados por poluentes e por tipologia de fonte (ver Figura 4. 7). Como pode ser verificado os limites máximos de emissão por tipologia de fonte são definidos em diferentes anexos. A Resolução não define ainda limites máximos de emissão por poluentes. Futuramente ao serem elaborados limites de emissão para outras fontes específicas (ou por poluentes), pretende-se que estes sejam incluídos como novos anexos nesta Resolução.

³ RESOLUÇÃO N^o 382, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2006.

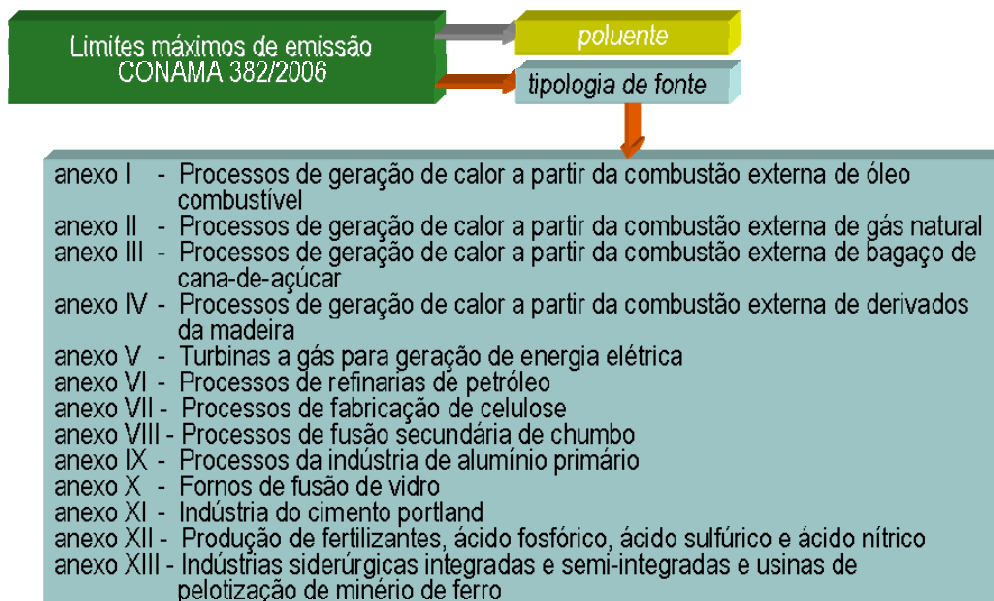


Figura 4. 7 – Estrutura do limites máximos de emissão do CONAMA 382/2006.

Como exemplo dos limites estabelecidos por esta Resolução tem-se as Tabelas 4.12 e 4.13, com os limites definidos respectivamente para processos de combustão externa de óleo combustível e derivados de madeira.

Tabela 4. 12 – Limites máximos de emissão para processos de geração de calor a partir da combustão externa de óleo combustível.

Potência térmica nominal	MP	NO _x (como NO ₂)	SO _x (como SO ₂)
Menor que 10 MW	300 mg/Nm ³	1600 mg/Nm ³	2700 mg/Nm ³
Entre 10 MW e 70 MW	250 mg/Nm ³	1000 mg/Nm ³	2700 mg/Nm ³
Maior que 70 MW	100 mg/Nm ³	1000 mg/Nm ³	1800 mg/Nm ³

Os resultados devem ser expressos em base seca e corrigidos a 3% de excesso de oxigênio.

Tabela 4. 13 - Limites de emissão para processos de geração de calor a partir da combustão de derivados da madeira.

Potência térmica nominal	MP	NO _x (como NO ₂)
Menor que 10 MW	730 mg/Nm ³	Não aplicável
Entre 10 MW e 30 MW	520 mg/Nm ³	650 mg/Nm ³
Entre 30 MW e 70 MW	260 mg/Nm ³	650 mg/Nm ³
Maior que 70 MW	130 mg/Nm ³	650 mg/Nm ³

Os resultados devem ser expressos em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio.

De acordo com o CONAMA 382/2006, a critério do órgão ambiental licenciador, para processos de combustão externa de derivados de madeira com potência de até 10 MW, alternativamente aos limites da Tabela 4. 13, poderá ser aceito o monitoramento periódico de monóxido de carbono. Neste caso, o limite máximo de emissão para este poluente será o estabelecido na seguinte Tabela 4. 14. Poderá também ser aceito a avaliação periódica da concentração de material particulado através da opacidade, sendo que neste caso, o valor máximo permissível é 20% equivalente ao padrão 1 da Escala de Ringelmann.

Tabela 4. 14 - Limites de emissão de CO para processos de geração de calor a partir da combustão de derivados da madeira.

Potência térmica nominal	CO
Até 0,05 MW	6500 mg/Nm ³
Maior que 0,05 MW até 0,15 MW	3250 mg/Nm ³
Maior que 0,15 MW até 1,0 MW	1700 mg/Nm ³
Maior que 1,0 MW até 10 MW	1300 mg/Nm ³

Os resultados devem ser expressos em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio.

4.4.5 PADRÕES DE EMISSÃO DA RESOLUÇÃO SEMA PR 054/2006

No Brasil, cada Estado da Federação pode estabelecer seus próprios limites ou padrões, uma vez respeitada a legislação federal. Este é o caso do Paraná, onde os padrões de emissão foram estabelecidos de acordo com o artigo 17 da Resolução SEMA PR 054/2006. Para fontes estacionárias, eles estão fixados por poluente ou por tipologia de fonte potencial de poluição do ar. A Figura 4. 8 apresenta um fluxo para identificação dos padrões de emissão.

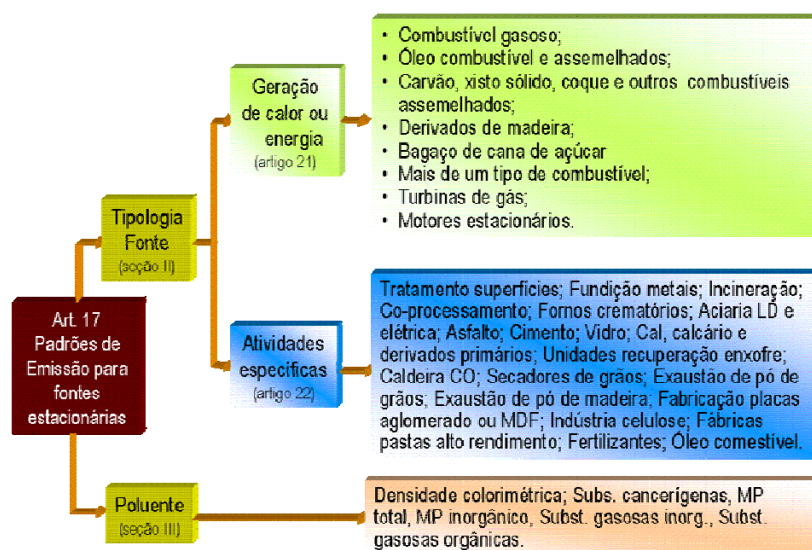


Figura 4. 8 – Fluxo da identificação dos padrões de emissão da Resolução SEMA 054/2006

➡ Exemplo de padrões de emissão por fontes que geram calor:

Artigo 21 item I - GERAÇÃO DE CALOR OU ENERGIA UTILIZANDO COMBUSTÍVEL GASOSO - Tabela 4. 15

Condição referencial de Oxigênio:

- Para processos onde há contato dos gases da combustão com os produtos processados: 17% ou, quando comprovada a sua impossibilidade técnica, outra concentração de Oxigênio que melhor caracteriza a condição de boa queima
- Para caldeiras e demais casos: 3%

Tabela 4. 15 - Padrões de emissão para fontes que geram calor ou energia utilizando combustível gasoso.

Potência Térmica Nominal (MW)	MP-total (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO _x (mg/Nm ³)	Automonitoramento - Amostragem	
					Parâmetros	Frequência
Até 10	NA	500	NA	NA	CO, O ₂	Semestral
Entre 10 e 50	NA	250	NA	NA	CO, O ₂	Semestral
Entre 50 e 100	NA	100	320	NA	CO, NO _x e O ₂	Semestral
Acima de 100	NA	100	200	NA	CO, NO _x e O ₂	Contínuo

NA: Não aplicável

Artigo 21 item IV Geração de calor ou energia utilizando derivados de madeira como combustível - Tabela 4. 16:

Condição referencial de Oxigênio:

- Para processos onde há contato dos gases da combustão com os produtos processados: 17% ou, quando comprovada a sua impossibilidade técnica, outra concentração de Oxigênio que melhor caracteriza a condição de boa queima
- Para caldeiras e demais casos: 11 %

Tabela 4. 16 - Padrões de emissão para fontes que geram calor ou energia utilizando derivados de madeira como combustível.

Potência Térmica Nominal ¹⁾ (MW)	Densidade colorimétrica	MP-total (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO _x (mg/Nm ³)	Automonitoramento - Amostragem	
						Parâmetros	Frequência
Até 0,5	20 % equivalente ao padrão 1 da escala Ringelmann ²⁾	560	6000	NA	NA	CO ou MP-total, O ₂	Anual
Entre 0,5 e 2,0		560	3000	NA	NA	CO ou MP-total, O ₂	Anual
Entre 2,0 e 10		560	2500	NA	NA	CO ou MP-total, O ₂	Semestral
Entre 10 e 50		400	2000	500	NA	MP-total, CO, NO _x e O ₂	Semestral
Entre 50 e 100		200	1000	500	NA	MP-total, CO, NO _x e O ₂	Semestral
Acima de 100		100	500	500	NA	MP-total, CO, NO _x e O ₂	Contínuo

Notas:

1) Na faixa até 10 MW, o controle das emissões poderá ser comprovado através do atendimento ao padrão de MP-total ou atendimento ao padrão de CO

2) exceto nas operações de aquecimento, modulação e ramonagem, por um período que totalize 10 minutos, ao longo das 24 horas do dia.

NA: Não aplicável



Exemplo de padrões de emissão para **atividades específicas:**

VIII. Cimento

Artigo 38 - Na atividade de produção de cimento, para a chaminé do forno de clínquer, ficam estabelecidos os seguintes padrões de emissão:

Condição referencial para Oxigênio: 7%

- Material Particulado Total: 70 mg/Nm³

b) NO_x:

- para um teor de até 1,2% de N no combustível: 1.000 mg/Nm³, expresso como NO₂
- para um teor entre 1,2% e 2,0% de N no combustível, conforme a fórmula abaixo:
 $1000 \text{ mg/Nm}^3 + (\%N - 1,2) \times 500 \text{ mg/Nm}^3$, expresso como NO₂
- para um teor acima de 2,0% de N no combustível: 1.400 mg/Nm³, expresso como NO₂;

c) SO_x:

- para um teor de até 0,2% de SO₃ na farinha: 400 mg/Nm³, expresso como SO₂
- para um teor entre 0,2% e 0,4% de SO₃ na farinha, conforme a fórmula abaixo:
 $400 \text{ mg/Nm}^3 + (\%SO_3 - 0,2) \times 4000 \text{ mg/Nm}^3$, expresso como SO₂
- para um teor acima de 0,4% de SO₃ na farinha: 1.200 mg/Nm³, expresso como SO₂

Parágrafo Único - No caso da operação com farinha acima de 0,2% de SO₃, deve ser adotado o automonitoramento de SO₂ no entorno da empresa.

XV. EXAUSTÃO DE PÓ DE MADEIRA

Artigo 45 - Para os sistemas de exaustão de pó de madeira fica estabelecido o seguinte padrão de emissão:

a) Material Particulado Total: 150 mg/Nm³



Exemplo de padrões de emissão por **poluente**:

DENSIDADE COLORIMÉTRICA

Artigo 55 - Fica proibida a emissão atmosférica por parte de fontes estacionárias, com densidade colorimétrica superior a 20% equivalente ao Padrão I da Escala de Ringelmann, exceto nas operações de aquecimento, modulação e ramonagem, por um período que totalize 10 minutos, ao longo das 24 horas do dia.

Parágrafo Único – O parâmetro densidade colorimétrica não será exigido como parte obrigatória do relatório de automonitoramento das emissões atmosféricas.

MATERIAL PARTICULADO TOTAL

Artigo 58 - O armazenamento de material fragmentado deverá ser feito em silos adequadamente vedados, ou em outro sistema que possua controle da poluição do ar de eficiência igual ou superior, de modo a impedir o arraste do respectivo material, pela ação dos ventos.

Artigo 59 - A concentração de Material Particulado Total contido nas emissões não deve ultrapassar os seguintes padrões:

a) para a emissão de Material Particulado Total com taxa de emissão até 0,5 kg/h: 250 mg/Nm³

b) para a emissão de Material Particulado Total com taxa de emissão acima de 0,5 kg/h: 150 mg/Nm³

4.5 METODOLOGIAS E EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO

A escolha dos monitores de poluição deve levar em consideração, além dos padrões legais, os recursos necessários para a aquisição, operação e manutenção dos equipamentos.

Várias metodologias e equipamentos foram desenvolvidos para detectar a quantidade de material particulado e de gases tóxicos presentes no ar atmosférico. Estes equipamentos possuem sensores eletroquímicos que são responsáveis pelo monitoramento dos gases tóxicos. Como qualquer equipamento de medição, a confiabilidade dos valores obtidos depende da sensibilidade e da precisão do equipamento. O intervalo de calibração deve ser respeitado. Além disso, o operador do equipamento deve conhecer o funcionamento do mesmo e ser capaz de perceber quando o instrumento está com problemas.

MOTIVOS PARA A MEDIÇÃO DE EMISSÕES - Figura 4. 9:

- controle do processo poluidor (Ex. Combustão);
- controle dos padrões de emissão;
- controle da eficiência de um equipamento;
- comparação de métodos diferentes de medição;
- calcular fatores de emissão;
- testar a consequência causada pela mudança de um processo;
- avaliar a formação de poluentes dentro do processo.

MOTIVOS PARA A MEDIÇÃO DE IMISSÕES - Figura 4. 9:

- calcular a trajetória dos poluentes na atmosfera;
- estudar a formação e degradação de poluentes na atmosfera;
- calcular o fluxo dos componentes;
- determinar a exposição aos poluentes;
- determinar a instalação de alarmes para determinados poluentes;
- determinar a deposição de poluentes na flora e fauna;
- gerar relatórios sobre a qualidade do ar;
- estudar o impacto de novas fontes de emissão.



Figura 4. 9 – Emissão e Imissão.

Os métodos de monitoramento são específicos para (Senai, 2002):

- amostragem em ar ambiente atmosférico;
- para avaliação da poluição “indoor”;
- em fontes emissoras industriais, especialmente chaminés.

Métodos de Monitoramento:

- PASSIVOS
- ATIVOS
- AUTOMÁTICOS
- SENSORES REMOTOS
- BIOINDICADORES

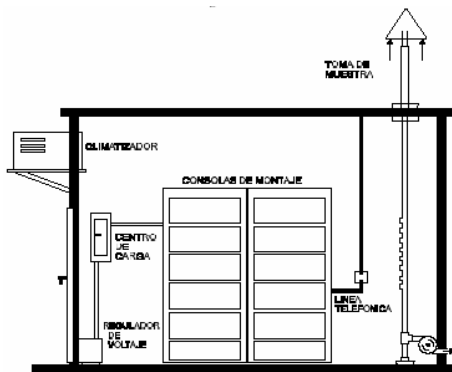


Figura 4. 12 - Amostradores automáticos

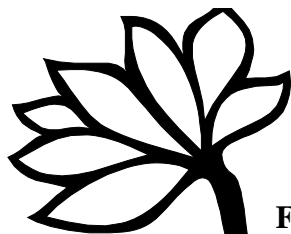


Figura 4. 14 - Bioindicadores

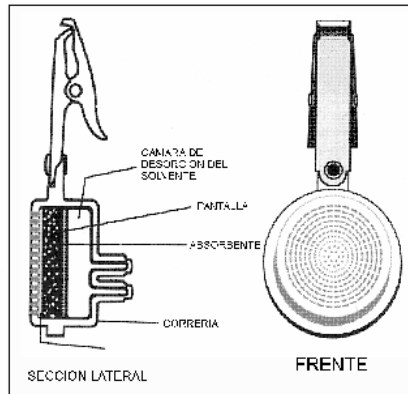


Figura 4. 10 - Amostradores passivos

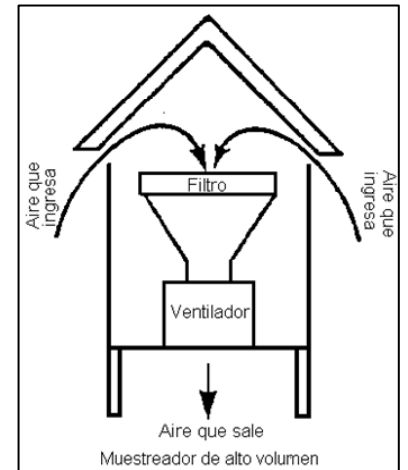


Figura 4. 11 - Amostradores ativos

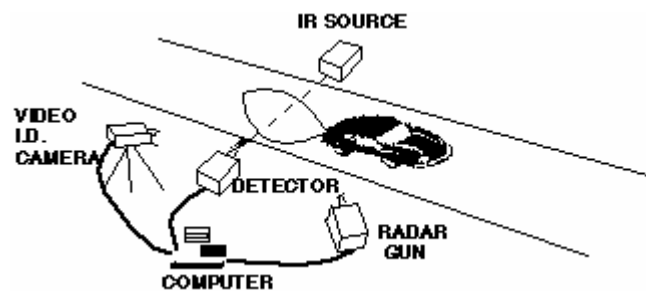


Figura 4. 13 – Sensores remotos

Em ambientes fechados (*indoor*), os métodos de medição da qualidade do ar não diferem muito dos métodos utilizados em ambientes abertos (*outdoor*).

A maior parte do monitoramento *indoor* utiliza amostradores passivos ou ativos, uma vez que, embora em muitos casos a avaliação da exposição aguda necessite de analisadores automáticos, pode haver certa dificuldade de instalação dos mesmos.

4.5.1 Amostradores passivos

A amostragem ocorre naturalmente por difusão molecular durante um período de tempo previamente definido (um dia, uma semana, o mês, etc.). O equipamento de amostragem consta de um equipamento (tubo, disco amostrador passivo ou cartucho) contendo suporte ab/adsorvente que fica exposto às concentrações ambientes - Figura 4. 15. Após o período de amostragem, o tubo é levado ao laboratório para análise do material retido (Senai, 2002).

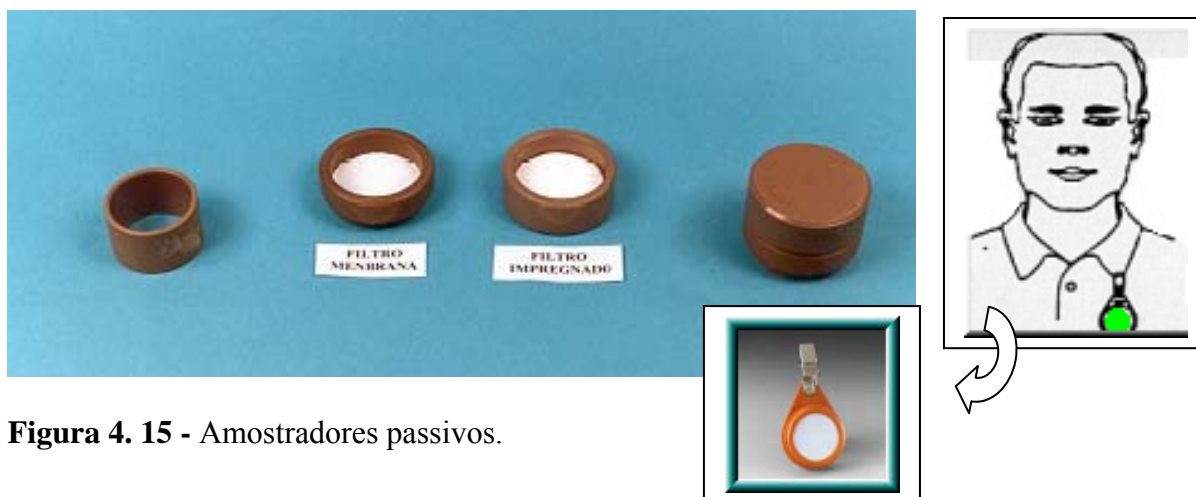


Figura 4. 15 - Amostradores passivos.

Os amostradores passivos podem ser utilizados isoladamente ou ainda ou em conjunto com outros analisadores, como os automáticos.

Existem amostradores passivos desenvolvidos ou em desenvolvimento para a maioria dos poluentes urbanos gasosos, entre eles: NO₂, SO₂, NH₃, COV (compostos orgânicos voláteis) e O₃ Senai (2002).

Os amostradores passivos não necessitam de bombas ou outro equipamento de sucção que force o movimento de um volume de ar através dele. Neste caso, a amostragem dá-se por difusão molecular do gás através de uma camada estática ou permeação através de uma membrana. Os amostradores passivos são constituídos por um tubo ou, num formato mais chato, como um disco ou *bottom*, com uma extremidade aberta protegida do vento por uma membrana ou algo equivalente. Estes métodos são adequados, sobretudo, para ambientes internos ou fechados (Senai, 2002).

O processo de funcionamento dos tubos amostradores é realizado por meio da difusão molecular do gás a partir da região de concentração mais alta, descrito pela Lei de Fick, em que o fluxo do gás é proporcional ao gradiente da concentração (Senai, 2002).

$$J = D_{AB} \frac{dC}{dZ}$$

J = fluxo do gás A no gás B através de uma determinada área, na direção Z (µg/m²s)

C = concentração do gás A no gás B (µg/m³)

Z = comprimento do tubo (m)

DAB = coeficiente de difusão molecular do gás A no gás B (m²/s)

4.5.2 Amostradores ativos

Os amostradores ativos mais utilizados são para medir SO₂ e MP, embora existam muitos métodos para medir NO₂, O₃ e Pb. Entretanto, o uso deste tipo de equipamento para o monitoramento de gases tem sido reduzido, com a substituição principalmente por analisadores automáticos (Senai, 2002).

Neste tipo de amostragem, um certo volume é sugado por uma bomba e passa através de meio coletor químico ou físico por um determinado período de tempo (tipicamente 24 horas para os poluentes em que o padrão legal é de 24 horas). A coleta pode ser feita por adsorção, absorção, impactação filtração, difusão, reação ou por uma combinação de dois ou mais destes processos.

Posteriormente, as amostras são levadas a laboratório para determinação da concentração do poluente de interesse (Senai, 2002).

4.5.2.1 Medição de material particulado (MP)

Segundo a Figura 4. 16 os tipos de material particulado mais comumente monitorados são:

- as partículas totais em suspensão (PTS)
- as partículas com diâmetro inferior a 10 μm , também chamadas de inaláveis (MP10)
- as partículas finas (MP2,5).

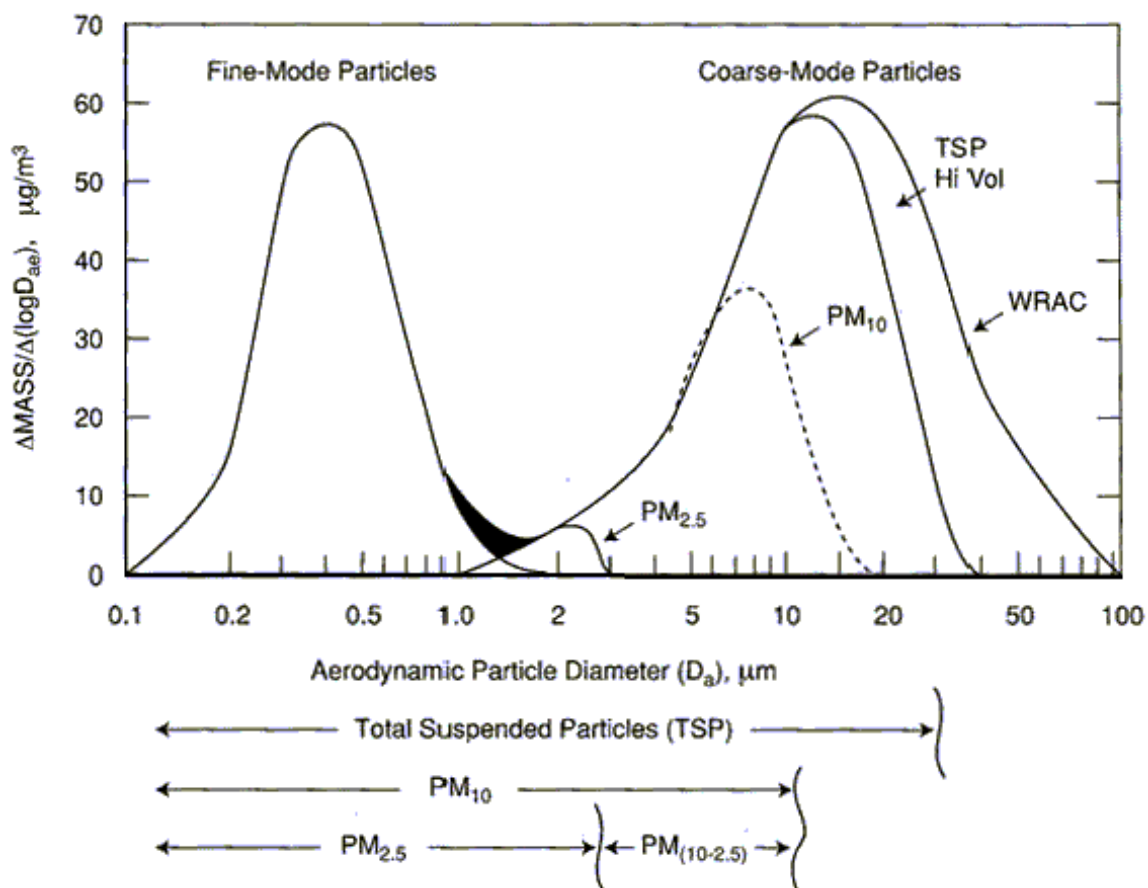


Figura 4. 16 - Material particulado presente na atmosfera.

Podem ser considerados amostradores ativos de MP os amostradores de grande volume (*high-vol*), médio volume (*medium-vol*) e pequeno volume (*low-vol*), os quais variam basicamente em termos de volume de ar amostrado, e não em tamanho da partícula (Senai, 2002).

Distribuição de tamanhos de partículas em suspensão na atmosfera:

As distribuições reais de tamanho de partículas raramente dão curvas simétricas - Figura 4. 17.

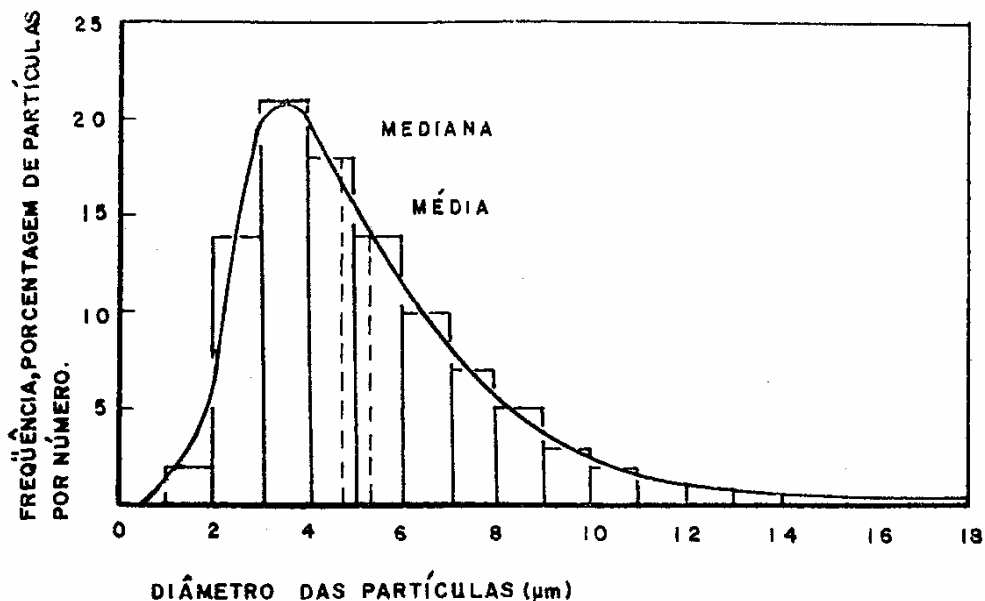


Figura 4. 17 - Distribuições reais de tamanho de partículas na atmosfera⁴.

A maioria das curvas assimétricas de frequência de tamanho de partículas pode ser convertida em curvas simétricas que se assemelham à curva normal de probabilidade (Figura 4. 18), quando o tamanho é substituído pelo logaritmo do tamanho. Assim a distribuição anterior pode ser representada conforme a Figura 4. 19.

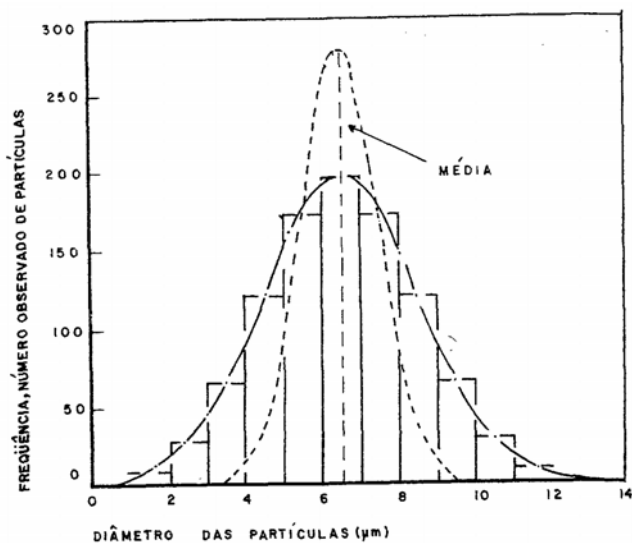
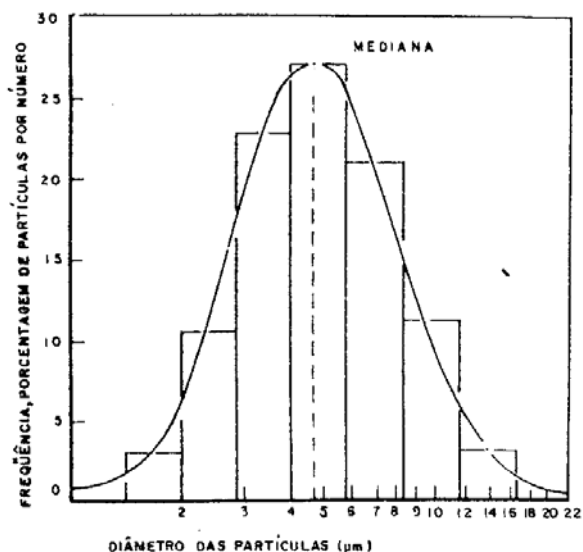


Figura 4. 18 – Histograma de uma distribuição normal de probabilidade de tamanhos de partículas

⁴ Mediana = valor central de uma série de observações, quando elas são arranjadas em ordem, da menor para a maior. Ela divide a área do histograma em duas partes iguais



Curva de distribuição log-normal

Figura 4. 19 - Modelo que em geral descreve a distribuição de tamanho de partículas de aerossóis

Quando se utilizam os logaritmos dos tamanhos, os dois parâmetros que definem a distribuição são a média geométrica e o desvio-padrão geométrico.

Material particulado (partículas totais em suspensão)

Para a amostragem de partículas totais em suspensão existe o método do amostrador de grandes volumes - Hi Vol (NBR 9547⁵) - Figura 4. 20. Este método é utilizado no Brasil. Nele, o ar ambiente é succionado para o interior de um abrigo, através de uma bomba, passando por um filtro de fibra de vidro de 8" x 10", a uma vazão de 1,1 a 1,7 m³/min e por um período de 24 horas corridas (cerca de 2.000 m³/dia). O material particulado com diâmetro entre 0,1 e 100 micra) é retido no filtro - Figura 4. 21. Um medidor de vazão registra a quantidade de ar succionada. A concentração de partículas em suspensão no ar ambiente (mg/m³) é então gravimetricamente determinada, relacionando-se a massa retida no filtro e o volume de ar succionado - Figura 4. 22.



Figura 4. 20 - Amostrador ativo de grande volume (*high-vol*) utilizado para coleta da imissão de Material Particulado.



Figura 4. 21 - Detalhe do filtro de fibra de vidro (Foto: Mauricy Kawano).

⁵ NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume.



Figura 4. 22 - Estação fixa para monitoramento da qualidade do ar com equipamentos utilizados para medição de Poluentes Atmosféricos: Hi-Vol, Trigás e Hi-Vol MP10 (Klabin Telêmaco Borba – PR) - Foto: Mauricy Kawano.

AVALIAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO POR MEIO DE AMOSTRADOR DE ALTO VOLUME (HI-VOL):

Método gravimétrico para análise de partículas em suspensão em ambientes. A coleta das partículas é feita através de papel filtro ou filtro de fibra de vidro, permite longos períodos de coleta.

O Hi-Vol é composto basicamente de (Figura 4. 23):

- ☞ amostrador;
- ☞ casa ou gabinete;
- ☞ rotâmetro;
- ☞ regulador e controlador de fluxo.

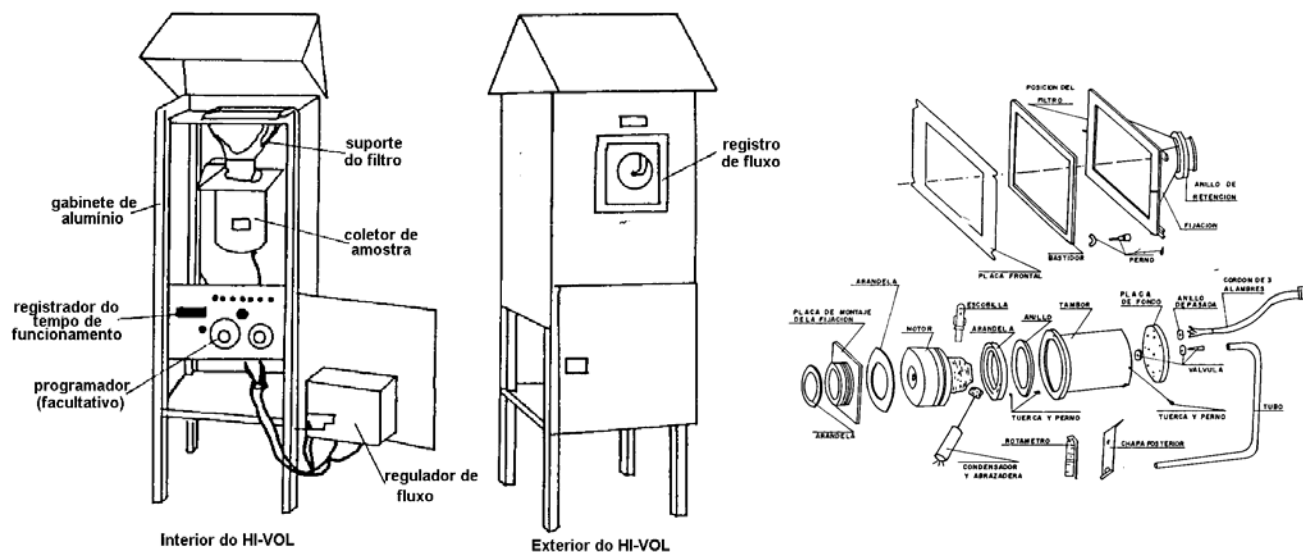


Figura 4. 23 - Composição do Hi-Vol

Material particulado Inalável (MP10)

Para medição de Material Particulado Inalável (MP10) recomenda-se a aquisição e instalação de amostradores de grande volume (HIVOL MP10) - Figura 4. 24 e Figura 4. 25. No Brasil adota-se a norma NBR 13412⁶.

Figura 4. 24 - Hi-Vol MP10 utilizado para coleta de Material Particulado de tamanho menor que 10 µm.

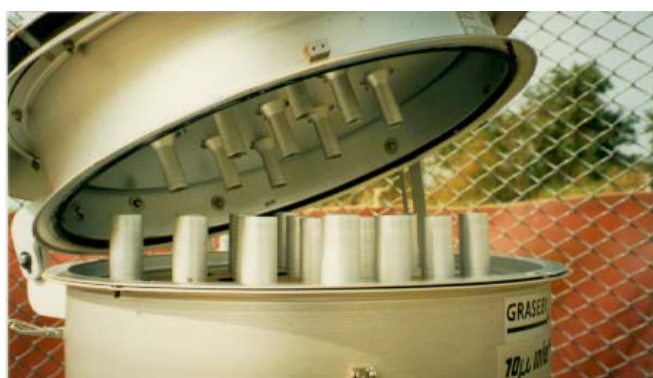


Figura 4. 25 - Hi-Vol PM10. Detalhe das chicanas (Cabeça Andersen) utilizadas para separação, por inércia, do Material Particulado de tamanho superior a 10 µm, as partículas que passam por estas chicanas ficam retidas em papel filtro - Foto: Mauricy Kawano.

⁶ NBR 13412: Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas.

Material particulado (fumaça)

Para medir a quantidade de material particulado (fumaça) presente no ar, oriunda de veículos automotores pode-se utilizar o método de Aceleração livre. Este método é importante para definir se o veículo cumpre as condições legais de qualidade do ar. A eficácia da medição depende dos operadores, dos procedimentos de ensaio, da equipe de medição e da calibração do equipamento.

O ensaio consiste em impor ao motor uma rápida aceleração de modo a obter a utilização máxima da bomba de injeção. Esta situação se mantém até que se obtenha a máxima velocidade do motor. Depois de alcançada esta velocidade, inicia-se a desaceleração até que o motor volte ao seu estado natural. Esta operação provoca a emissão de uma "nuvem" de fumaça em quantidade equivalente à emissão de fumaça caso o veículo estivesse em uso.

Existem dois métodos para quantificar esta "nuvem" de fumaça: o opacímetro e a bomba de sucção. O opacímetro mede a atenuação da luz em uma coluna de gás através de métodos fotoelétricos e registra o máximo valor do processo de aceleração descrito anteriormente. A bomba de sucção utiliza um filtro de papel, o qual muda de cor (torna-se negro) em função da qualidade do gás. A mudança da cor é conseguida através da passagem dos gases, provenientes do escapamento durante a aceleração, pelo filtro. O tempo de sucção, neste caso é de 6 a 8 segundos.

Nos Estados Unidos, por exemplo, o método adotado para o controle da emissão da fuligem é o da absorção de luz, também conhecido por teste de medição de opacidade. No Brasil utiliza-se a norma NBR 10736⁷.

Na Europa, o sistema mais comumente adotado combina os métodos de absorção de luz e de elemento filtrante por análise ótica, também conhecido por método do grau de enegrecimento, onde o grau é verificado em um filtro com o auxílio de um analisador ótico. Feita a medição, esta é associada à "Escala Bosch" que varia de zero a dez.

No Brasil, para o controle dos ônibus em circulação, o método utilizado é o da "Escala Ringelmann", segundo Resolução 510/77 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

ESCALA DE RINGELMANN

A Escala de Ringelmann foi um dos primeiros métodos para avaliação de fumaça. Ela foi elaborada em 1898. Para uniformização das avaliações dos efluentes gasosos nos EUA, a EPA (Environmental Protection Agency), em 1971, promulgou-a como Método 9. Este método foi posteriormente aperfeiçoado, com a utilização de medidores analíticos de opacidade (Transmissômetros), chamado de Método 9, Alternativa 1. Com estes medidores pode-se fazer o monitoramento contínuo de fontes estacionárias, o que não é o caso dos escapamento de veículos (Möcker e Bartholomae, 1989⁸, Apud König, 2000).

O uso deste método é normatizado na legislação ambiental brasileira. A Escala de Ringelmann é comumente utilizada para avaliação em campo, conforme a NBR 6016⁹ e Portaria n.º 100 de 14 de julho de 1980, do Ministério do Interior.

A Escala de Ringelmann Consiste na comparação visual de um disco de papel com escala colimétrica, de branco a preto, à pluma de fuligem emitida na extremidade do tubo de escape. Os resultados dependerão sempre de uma série de fatores, como a experiência do observador, pois este

⁷ NBR10736: Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de fumaça pelo método da refletância da luz

⁸ MÖCKER, V. e BARTHOLOMAE, H. (1989) - **Was Sie schon immer über Luftreinhaltung wissen wollten.** Verlag W. Kohlhammer. Berlin. 146p.

⁹ NBR 6016 MARÇO /83 : GÁS DE ESCAPAMENTO EMITIDO POR MOTORES DIESEL AVALIAÇÃO DO TEOR DE FULIGEM COM ESCALA RINGELMANN REDUZIDA

método exige uma avaliação humana e, portanto, subjetiva da posição do mesmo em relação à incidência de luz sobre a pluma de fumaça e do contraste entre esta e o fundo

Escala gráfica para avaliação colorimétrica de densidade de fumaça, constituída de seis padrões com variações uniformes de tonalidade entre o branco e o preto - Figura 4. 26. Os padrões são apresentados por meio de quadros retangulares, com rede de linhas de espessura e espaçamento definidos, sobre um fundo branco. Os padrões da escala de Ringelmann são numerados de 0 a 5.

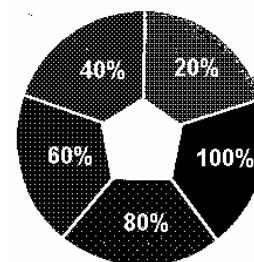


Figura 4. 26 - ESCALA DE RINGELMANN

A Escala de Ringelmann Reduzida (Figura 4. 27) a é usada para avaliação colorimétrica de densidade de fumaça. Pode ser considerada como um caso especial de amostragem passiva (sem difusão molecular).

Para descobrir se um ônibus ou caminhão está emitindo fumaça acima do permitido, utiliza-se a Escala de Ringelmann - **Figura 4. 28**. Trata-se de um cartão de papelão, com um buraco no centro, no qual existe um pentagrama com uma escala de cinco variações de cor, que vão de cinza claro até o preto. Compara-se a cor da fumaça que sai do escapamento do veículo com o padrão 2 da escala. Ultrapassado esse padrão, o veículo é autuado, porque acima disso a fumaça preta se concentra com densidade colorimétrica superior a 40%. Cerca de 50% das partículas presentes na atmosfera da Grande São Paulo são lançadas por veículos (o restante é proveniente das indústrias, caldeiras e queima de lixo).

Segundo a NBR 6016 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) este método serve para uma simples e rápida avaliação do estado de manutenção de motores do ciclo diesel. Para que fosse mais preciso, o controle de veículos deveria ser efetuado conforme a NBR 8026, que estabelece o procedimento de ensaio de medição por elemento filtrante através do uso da "Escala Bosch.



Figura 4. 27 – Escala de Ringelmann Reduzida



Figura 4. 28 - Blitz realizada em 10/12/97, na cidade de Blumenau.

Fonte: Konig, 2000

Por exemplo:

Legislação do Estado de São Paulo

Lei número 977 e Decreto número 8.468, que a regulamenta, ambos de 1976: regulamentam as ações de controle ambiental e padrões, licenças para as novas indústrias, bem como para aquelas já estabelecidos, e as sanções para ações corretivas. Este regulamento mantém os padrões federais de qualidade do ar e acrescenta os seguintes principais requisitos:

- a) Ringelmann número 1 é o limite de emissão para fumaça preta emitida por fontes estacionárias;

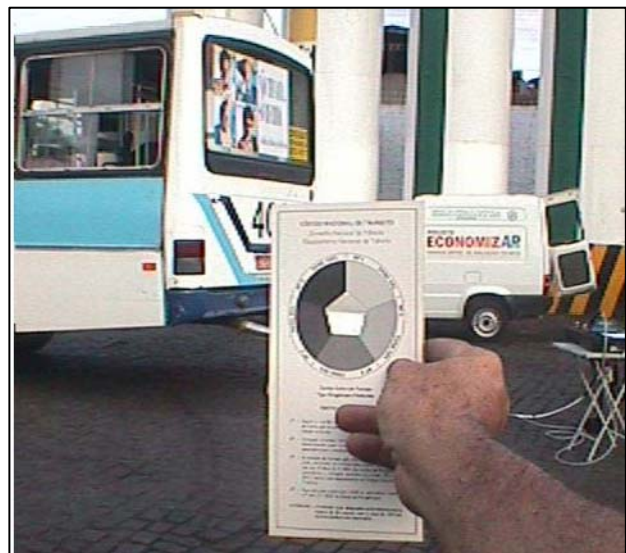


Figura 4. 29 - Controle de fumaça Preta.

- b) Ringelmann número 2 é o limite de emissão para fumaça preta emitida por veículos a diesel a qualquer altitude em operação normal - Figura 4. 29.

A Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, por meio da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), tem realizado periodicamente operações de fiscalização de emissão de fumaça preta em veículos movidos a diesel¹⁰.

¹⁰ FUMAÇA PRETA: Operação da Cetesb e Polícia autua 911 veículos. Saneamento Ambiental OnLine nº309 - 25/6/2007

4.5.2.2 Dióxido de enxofre (SO₂)

Para medir a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) no ar atmosférico existem, entre outros, dois métodos a saber: método da pararosanilina (NBR9546¹¹) e o método do peróxido de hidrogênio (NBR 12979¹²). Em ambos os métodos, para a coleta dos poluentes é utilizado um sistema de borbulhadores onde um determinado volume do ar ambiente, mediante o uso de uma bomba de vácuo, é succionado e borbulhado em solução de reagentes específicos para cada poluente por um tempo específico, normalmente 24 horas - Figura 4. 30.



Figura 4. 30 - Trigás - detalhe ao centro em azul - borbulhador contendo solução de peróxido de hidrogênio para coleta de Dióxido de Enxofre (SO₂)

Posteriormente, a amostra é então analisada em laboratório, onde então é determinada a concentração do poluente. A Figura 4. 31 mostra o esquema de funcionamento deste sistema.

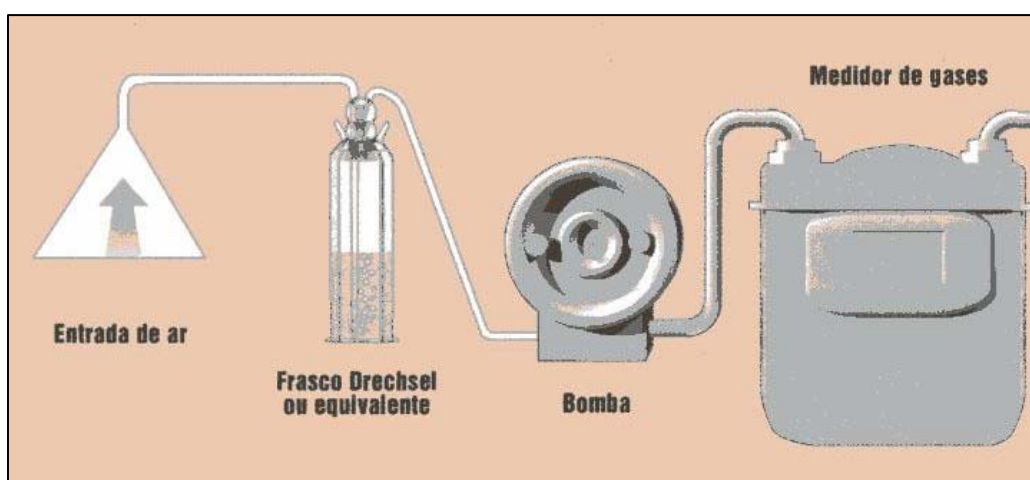


Figura 4. 31 - Configuração mínima para a amostragem de SO₂.

Fonte: Senai, 2000.

A Figura 4. 32 apresenta um amostrador (Trigás) com a configuração mínima para a amostragem de SO₂.

¹¹ NBR9546: Dióxido de enxofre no ar ambiente - Determinação da concentração pelo método da pararosanilina

¹² NBR 12979: Atmosfera - Determinação da concentração de dióxido de enxofre, pelo método do peróxido de hidrogênio

Figura 4. 32 - Trigás amostrador de pequeno volume utilizado para medição simultânea de 3 gases poluentes atmosféricos (SO₂, NO₂, H₂S, NH₃).



O método da pararosanilina consiste em um complexo estável de diclorosulfitomercurato formado pela absorção do dióxido de enxofre em uma solução de tetracloromercurato de potássio (TCM), reage com pararosanilina e formaldeído. O ácido metil sulfônico pararosanilina de coloração intensa é então formado, controlando-se a adição de amostra e reagentes. A absorbância desta solução, proporcional à concentração de dióxido de enxofre, é lida em espectrofotômetro.

O método do peróxido de hidrogênio consiste em submeter o ar ambiente succionado em uma solução de peróxido de hidrogênio, que absorve e oxida o dióxido de enxofre presente, formando ácido sulfúrico. A acidez da solução resultante, proporcional à concentração de dióxido de enxofre, é determinada através de titulação com uma solução padrão.

4.5.2.3 Dióxido de nitrogênio (NO₂)

A coleta do ar contendo dióxido de nitrogênio (NO₂) segue o mesmo princípio da coleta de dióxido de enxofre, diferenciando apenas a solução absorvente. Para medir a quantidade de dióxido de nitrogênio (NO₂) presente no ambiente é utilizado o método do arsenito de sódio. Nele, o ar ambiente succionado passa por uma solução estável de nitrito de sódio. O íon nitrito produzido durante a coleta reage com uma solução de ácido fosfórico, sulfanilamida e N-1-(naftil)-etilenodiamina dihidroclorada para formar um azo composto cuja coloração é proporcional à concentração de dióxido de nitrogênio e é medida colorimetricamente. No Brasil existe a norma NBR11505¹³.

4.5.2.4 Monóxido de carbono

A determinação da concentração de monóxido de carbono é realizada, no Brasil, por espectrofotometria de infravermelho não-dispersivo (NBR 13157¹⁴).

4.5.2.4 Medição de O₃:

Um método utilizado para o monitoramento do ozônio é o NBKI (*neutral buffered potassium iodide*). Neste método, o O₃ reage com o iodeto de potássio liberando iodina, que é

¹³ NBR11505: Gases - Determinação do teor de dióxido de nitrogênio - Reação de Gress-Saltzman.

¹⁴ NBR 13157: Atmosfera - Determinação da concentração de monóxido de carbono por espectrofotometria de infravermelho não-dispersivo IVND.

determinada pelo espectrofotômetro. Apesar de simples e barato a interferência com SO₂ e NO₂ e deterioração da iodina tornou este método de pouco uso (Senai, 2002).

4.5.3 Analisadores automáticos

Este tipo de equipamento de medição fornece medidas com resolução temporal relativamente alta, normalmente médias de 30 ou 60 minutos, e utilizam princípios eletro-ópticos.

A amostra de ar entra em uma câmara de reação onde a propriedade ótica do gás pode ser medida diretamente, ou uma reação química ocorre produzindo quimiluminescência ou luz fluorescente.

Um detetor de luz produz um sinal elétrico que é proporcional à concentração do poluente que está sendo medido (Senai, 2002). Dependendo do poluente, o analisador utiliza diferentes princípios eletroópticos, tal como pode ser observado na Tabela 4. 17.

Tabela 4. 17 - Analisadores automáticos. Fonte (Senai, 2002).

<i>Princípio eletro-óptico</i>	<i>Poluente</i>
Fluorescência	SO ₂
Quimiluminescência	NO _x , NO e NO ₂
Absorção de infravermelho não dispersivo	CO
Cromatografia gasosa/ionização de chama (ou espectrômetro de massa)	Hidrocarbonetos (HC)
Absorção de ultravioleta	O ₃
Absorção β e microbalanço oscilante	Partículas em suspensão

Medidas deste tipo possuem alto grau de precisão. Estes analisadores funcionam continuamente produzindo grande quantidade de dados. Necessitam de computadores exclusivamente dedicados para posterior processamento e análise.

É comum seu uso em unidades fixas (Figura 4. 33) ou móveis de monitoramento (Figura 4. 34).

Nas Figura 4. 35 a Figura 4. 39 apresentam-se o interior de uma unidade móvel e em detalhes, seus analisadores.

Figura 4. 33 - Estação fixa





Medidores de radiação solar e umidade do ar

Figura 4. 34 - Estação móvel Cubatão.



Figura 4. 36 - Interior de uma unidade móvel e seus analisadores



Figura 4. 35 - Analisador de monóxido de carbono (CO)



Figura 4. 37 - Analisador de NH3 e NOX.



Figura 4. 38 - Analisador de material particulado

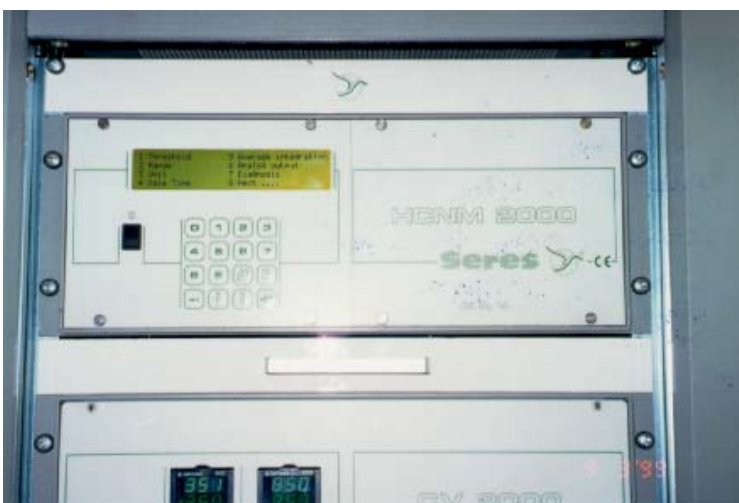


Figura 4. 39 - Analisador de COV (compostos orgânicos voláteis).

Medição de O₃: ANALISADORES AUTOMÁTICOS

O método mais utilizado para o monitoramento do ozônio é baseado em absorção da radiação ultravioleta, onde a concentração de O₃ é calculada a partir da absorção de radiação ultravioleta em comprimento de onda de 254 nm. A precisão deste método é estimada em torno de 11% - Figura 4. 40.



Figura 4. 40 - Analisador de ozônio

4.5.4 Sensores remotos

Desenvolvido mais recentemente, este tipo de monitor fornece informações de concentração de poluentes em pontos mais distantes do equipamento, por meio de técnicas de electroscopia. Os dados são obtidos por integração, ao longo de um caminho óptico, de uma fonte de luz e receptor - Figura 4. 41 (Senai, 2002).

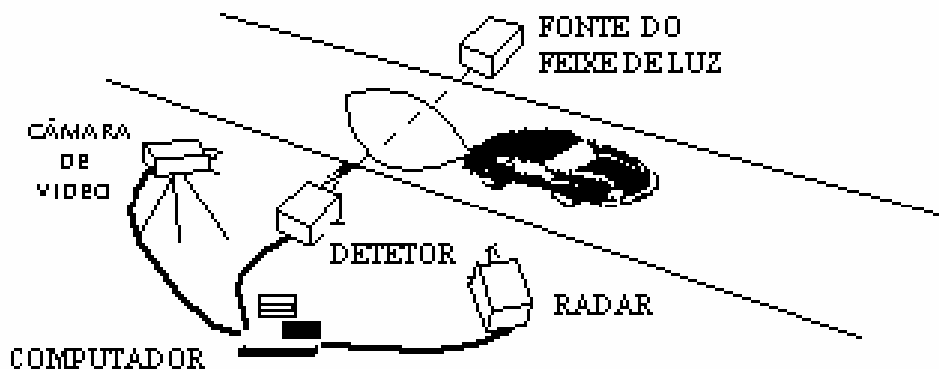


Figura 4. 41 - Sensores remotos.

O equipamento pode trabalhar na faixa do ultravioleta (UV), como o equipamento DOAS (differential optical absorption spectroscopy), ou ainda próximo ao infravermelho, como o FITR (Senai, 2002).

O sensor remoto tem como objetivo medir a emissão de hidrocarbonetos e de monóxido de carbono dos veículos automotores que trafegam pelas vias. Ao contrário de muitos outros equipamentos utilizados, não há necessidade de conectar o aparelho ao veículo que se pretende avaliar.

Montado em um furgão estacionado, o equipamento envia um feixe de infravermelho ao longo de uma faixa de tráfego para medir os hidrocarbonetos, o monóxido de carbono e o dióxido de carbono liberados por um veículo determinado. O sensor é instalado na via e mede a concentração do poluente antes e depois da passagem do veículo para que seja calculada a emissão do poluente devido à combustão. Os resultados são mostrados aos motoristas em sinais de *neon* e as placas dos veículos são registradas em vídeos de alta velocidade, de forma que as autoridades possam tomar providências legais contra os maiores poluidores.

Quando o veículo se posiciona ao longo do feixe de infravermelho, o detector realiza dezenas de medições dos gases do escapamento em menos de um segundo. Quanto mais luz infravermelha a descarga de um veículo absorve, mais poluidor ele é. Este tipo de medidor é importante para controlar os veículos que trafegam em péssimas condições, porém não substitui outras formas de controle como o programa de Inspeção e Manutenção - I/M, pois é limitado já que não mede a quantidade de óxidos de nitrogênio, por exemplo.

Estudos realizados pela EPA e pela *California Air Resources Board* concluíram que o sensor remoto identifica erroneamente alguns veículos como poluidores. Isto ocorre porque há uma variabilidade nos modos de operação. Este erro pode ser amenizado quando o veículo é submetido várias vezes ao sensor.

LIDAR LASER QUE MONITORA DE POLUIÇÃO DE AR

Há ainda equipamentos mais sofisticados baseados em laser (LIDAR), utilizados especificamente no monitoramento de gases próximos a fontes emissoras e para medidas de concentração vertical na atmosfera - Figura 4. 42.

Sistemas de LIDAR estão baseado em uma luminária de flash bombeador Laser de Safira e Titânio. Permite, quase simultaneamente, medidas espaciais resolvidas de ozônio como também COV e NO₂, que são conhecidos como "precursores" importantes na formação de ozônio de troposfera e o aquecimento global.

Ele dá ainda informação extensa das emissões dos contaminantes, mas também na reação, dispersão e processos de transporte dos contaminantes juntamente com sua distribuição vertical.



Figura 4. 42 - Lidar

Aplicações

- Medidas de ar ambientes - Figura 4. 43.
- Cartografia horizontal da distribuição do contaminante
- Descoberta de " manchas " quentes
- Contribuir para projetar , reclassificar a cadeia de poluição de ar
- Determinação dos efeitos de medidas de antipoluição
- Determinação da distribuição vertical de um contaminante - Figura 4. 44; Figura 4. 46
- Observação de transporte e reação dos processos na mais baixa troposfera
- Determinação de camadas de armazenamento
- Determinação de camadas de inversão
- Introdução dados por melhorar modelos atmosféricos
- Medidas de emissão
- Medidas distantes de emissões industriais
- Descoberta de fontes desconhecidas - Figura 4. 45.
- Descoberta de emissões difusas
- Determinação de emissões de linha e fontes de área
- Identificação e determinação de transporte de poluição de ar de longo alcance

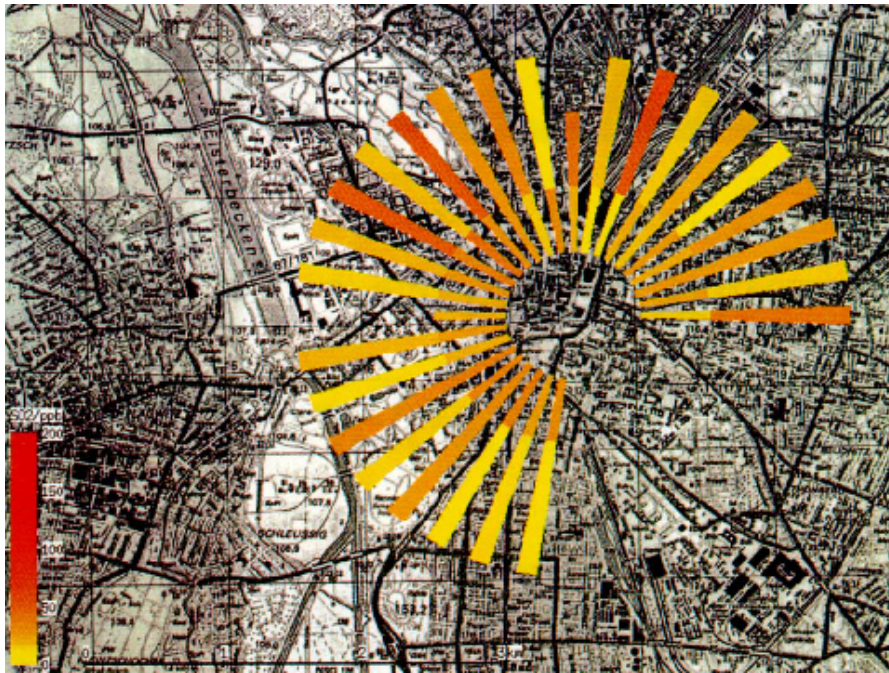


Figura 4. 43 - Emissões que monitoram SO₂ em Leipzig: Vermelho indica concentrações altas, amarelas representam baixas concentrações de SO₂

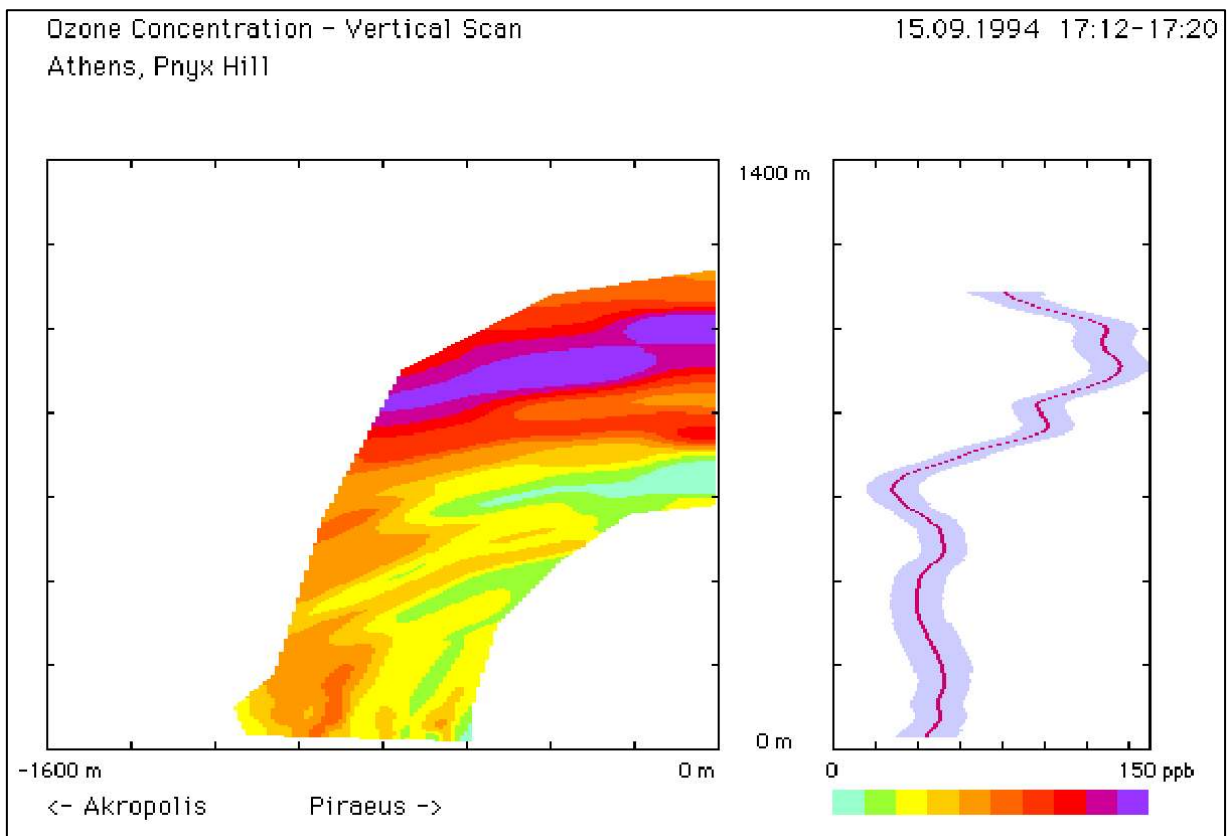


Figura 4. 44 - Enquadramento Vertical de ozônio levado a cabo em Atenas, Grécia (1994) revelando uma capa de armazenamento de ozônio a aproximadamente 1000m altitude Este tipo de informação é muito importante melhorar a produção de modelos de qualidade do ar.

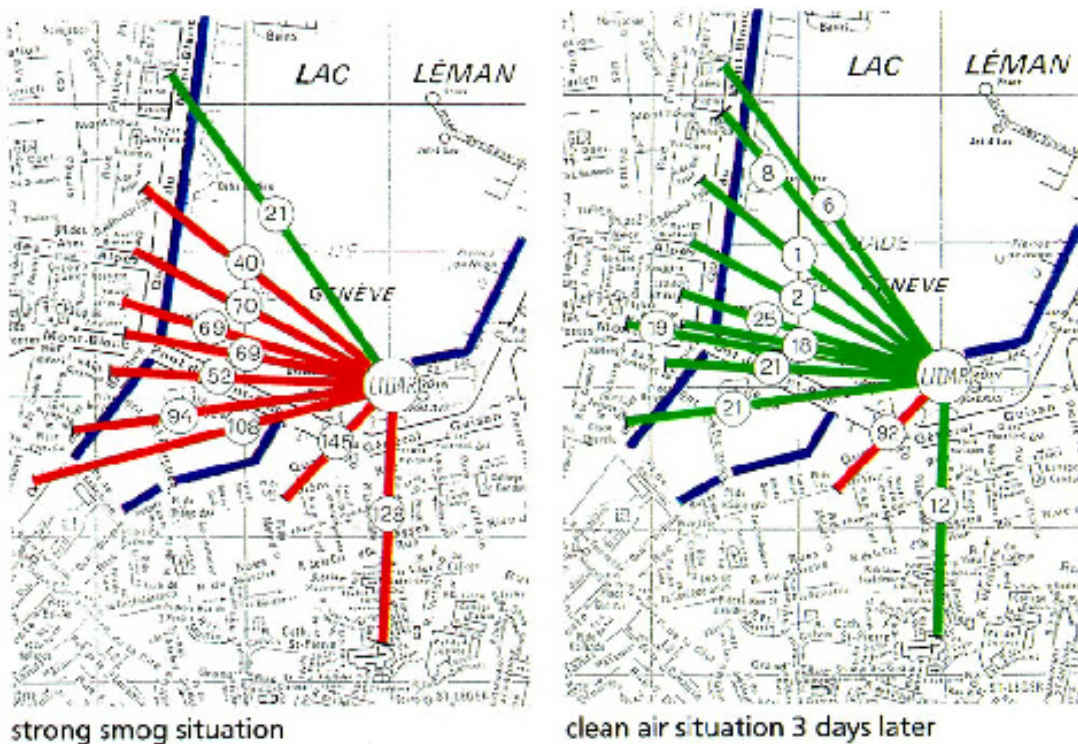


Figura 4. 45 - NO₂ medidos em Genebra em dois dias diferentes. Enquanto o primeiro dia mostra um aumento de concentrações em todas as direções, três dias depois só em uma direção o nível permaneceu alto. Esta medida permitiu identificar um lote de estacionamento subterrâneo debaixo de um parque recreativo como uma fonte de emissão importante

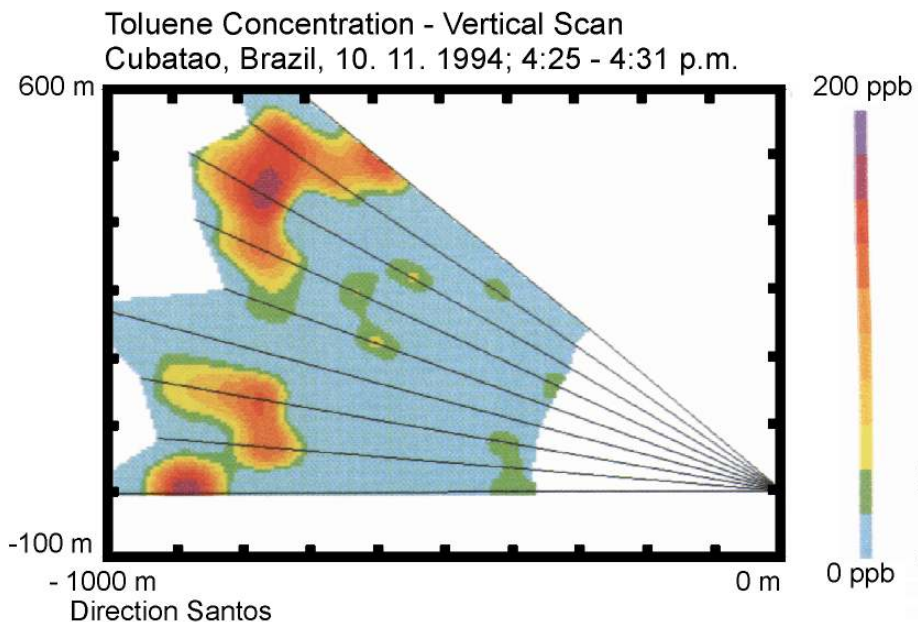


Figura 4. 46 - Medida de Tolueno a uma refinaria em Cubatão, Brasil. Em nível de solo concentrações altas de Tolueno estavam registradas, causadas pela evaporação de tanques de armazenamento. Este tipo de emissões difusas é muito difícil de medir com métodos convencionais

O princípio de Medida

Um Lidar envia pulsações pequenas de laser na atmosfera. Desde o princípio seu caminho a luz é difundida através de partículas pequenas (Mie que difunde) e pelas moléculas do ar como bem (Rayleigh que difunde). A fração pequena da luz que é refletida sistema de Lidar é recebida por um telescópio e um detector sensível - Figura 4. 47.

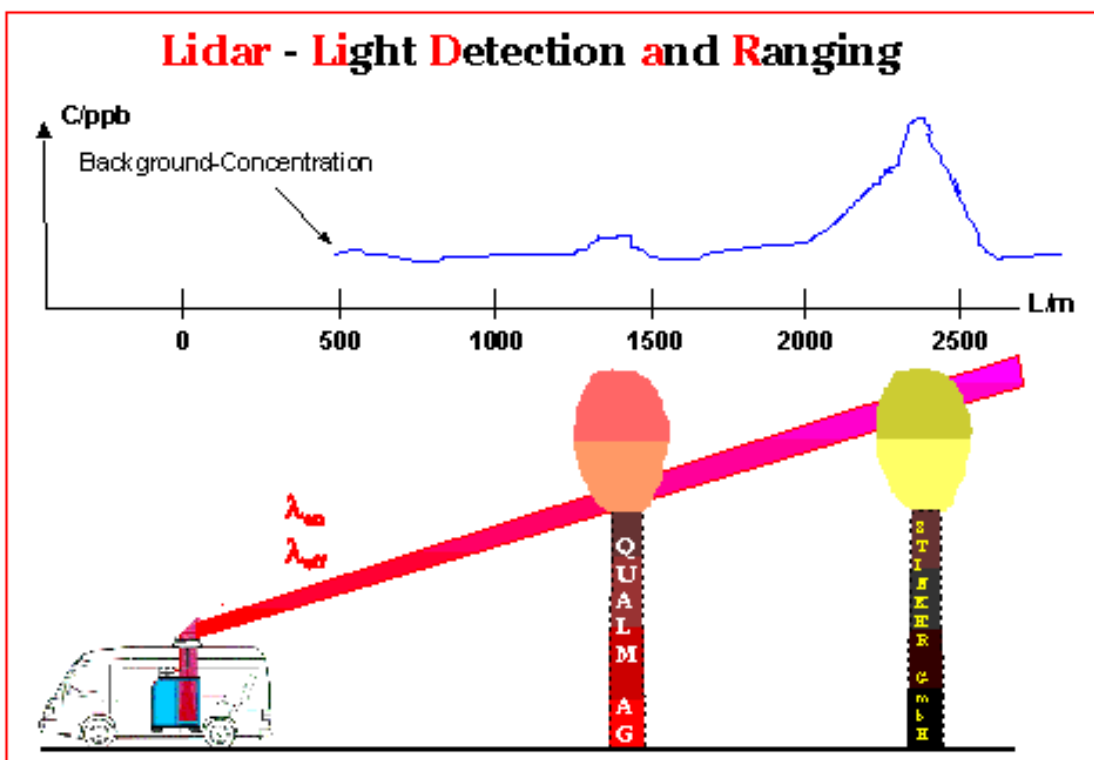


Figura 4. 47 - Funcionamento do Lidar.

Para determinar a distribuição no espaço de um contaminante gasoso é aplicado a *Absorção de Diferencial técnica de Lidar* (DIAL). Esta técnica está baseada na absorção clara através de moléculas. De acordo com as propriedades de espectroscópicas da molécula específica a absorção depende do comprimento de onda da luz incidente

Um DIAL envia pulsações de laser e alterna em dois comprimentos de onda diferentes. Um dos comprimentos de onda (λ_{on}) é escolhido para absorção seletiva alta pelo contaminante de interesse. O outro é de perto “neighbouring” mas não sofre quase nenhuma absorção pelo contaminante (λ_{off}).

Em ausência do contaminante selecionado, os sinais de retorno atmosféricos em ambos comprimentos de onda são quase iguais. Se o eixo de laser conhece uma nuvem ou uma plumagem com concentrações altas deste contaminante, uma diferença significativa nos ambos os sinais é observada, e assim a concentração do contaminante como função da distância ao longo do eixo e pode ser calculada quantitativamente através dos sinais adquiridos. A seleção da região de comprimento de onda é adaptada às propriedades de espectroscópicas dos poluentes de interesse.

SODAR

O SODAR processa o eco de uma pulsação acústica que é dirigida para atmosfera. A frequência que retorna do eco varia de acordo com a velocidade de vento (isto é o efeito DOPPLER) enquanto a intensidade de eco varia de acordo com turbulência térmica e a estrutura - Figura 4. 48.

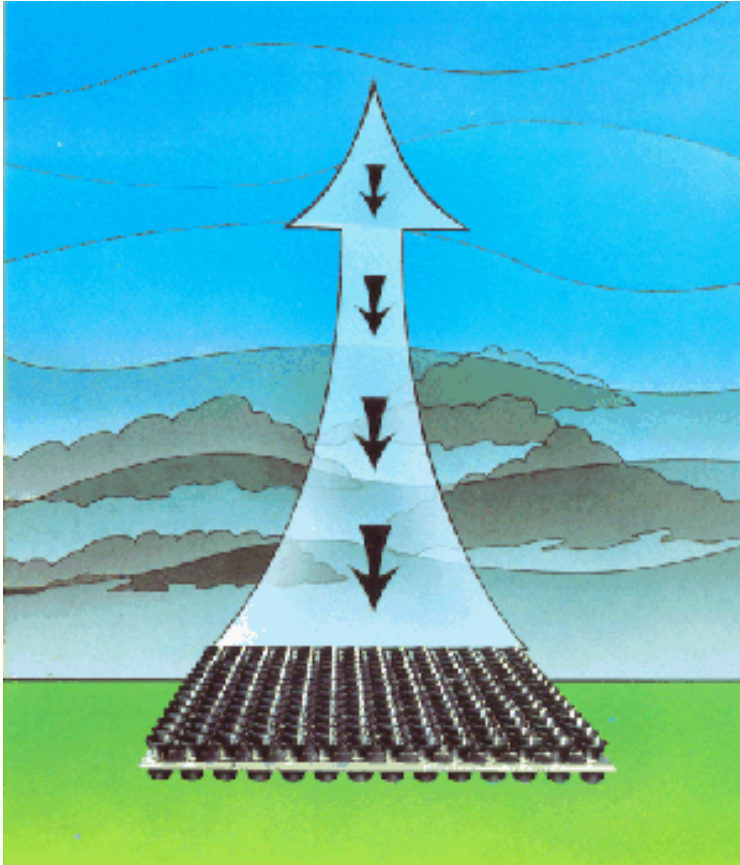


Figura 4. 48- Sodar

As aplicações para o SODAR são numerosas.

- Estudos de impacto ambientais
- Prevenção das conseqüências de acidentes nucleares ou derramamentos de substância química tóxicos.
- Consideração de campos de vento em estudos da trajetória de objetos voadores
- Quantificando os efeitos de turbulência atmosférica na propagação de luz e ondas de rádio
- Medidas de vento também são possíveis quando dirigi-se a antena à ângulos de baixa-elevação.

Principio de funcionamento

Um SODAR pode medir a velocidade do vento e direção, movimentos verticais, turbulência, estrutura térmica, e medindo a profundidade das alturas variando de 20 m até 1.000 a 5.000 metros que dependem do tipo de antena.

Esta medida é realizada emitindo uma pulsação acústica forte na faixa auditiva e detectando a frequência Doppler trocada do eco recebido. Estes ecos ecoam sinais devido a turbulência térmica na atmosfera. O sinal troca de frequência (efeito Doppler) e sua força relativa e são processados de vários modos para que produza informações muito mais valiosas que previamente disponível por métodos convencionais como estações instrumentadas, sondas, etc

O sistema permite controle do eixo eletrônico de antena: eletronicamente guiados com inclinação do eixo de até 30 graus na vertical e 90 graus de um ao outro para prover o componente

horizontal de velocidade de vento. O terceiro eixo é verticalmente apontado e provê a componente do vento. O software de sistema controla a sucessão e a taxa de operação para cada eixo.

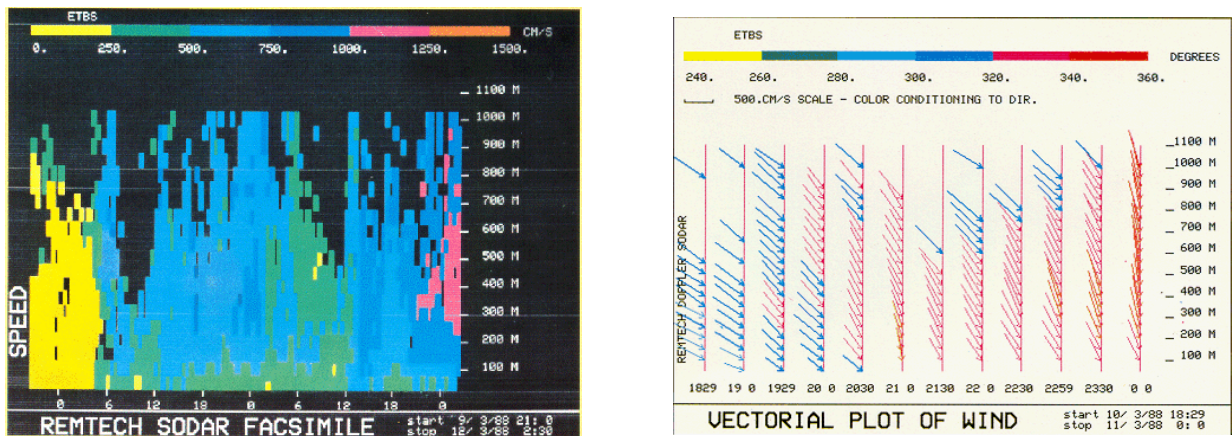


Figura 4. 49 - MEDIDA E PLOTAGEM VETORIAL DO VENTO

R.A.S.S -Sistema Rádio Acústico

O RASS aplica um princípio simples de físicas: a relação da velocidade de som e temperatura de ar. Um RASS processa uma parte pequena da energia de um eco de onda de rádio contínua pela imogenia na atmosfera causada por uma pulsação acústica transmitida da antena vertical do SODAR. O efeito Doppler que se processa do sinal recebido por uma segunda antena de radar torna isto possível medir a velocidade do objetivo vertical " móvel ", aqui o trem de onda acústico, e extrai disto a temperatura de ar - Figura 4. 50.

O RASS junto com um SODAR consegue medir o fenômeno de inversão térmica, responsável por agravar as concentrações dos contaminantes encontrados na atmosfera - Figura 4. 51.

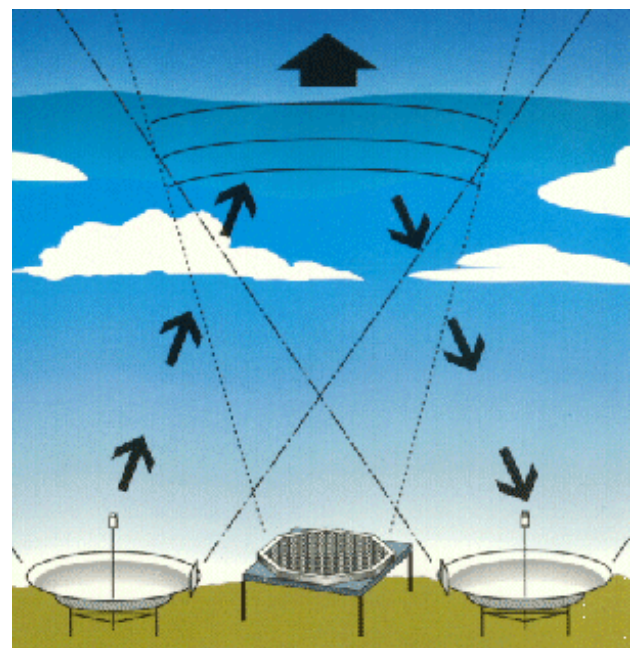


Figura 4. 50 – RASS.

Aplicações

- A previsão, em tempo real e com uma precisão boa, da névoa em aeroportos, graças a perfis de contínuos temperatura;
- O controle de aberrações em propagação de onda de rádio devido a inversões de temperatura que perturbam rádio unidas e cobertura de radar;
- O RASS também complementa o SODAR em suas aplicações clássicas:

A melhoria de modelos de taxa de risco em locais que envolvem riscos tecnológicos principais (usinas nucleares, indústrias químicas, poluição urbana, cadeias de alertas,...);

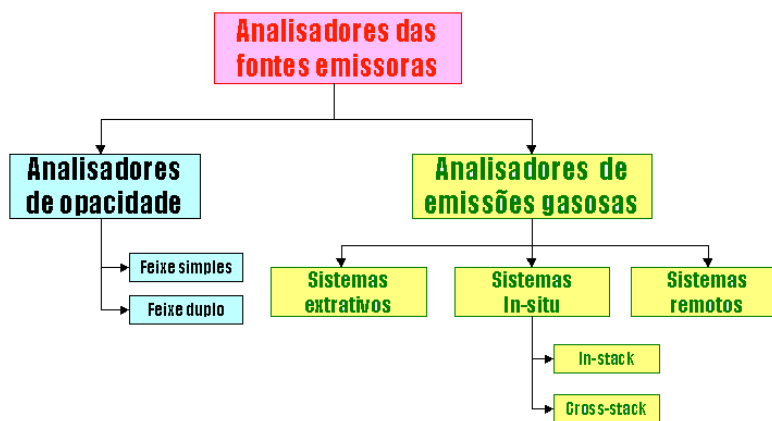
O entendimento melhor de propagação de ruído (certificação de ruído de aeronaves,...).



Figura 4. 51 - ANTENA DE SODAR ENTRE ANTENAS DE RASS

ANALISADORES PARA MONITORAMENTO DAS EMISSÕES

A aplicação de técnicas de monitoramento contínuo de poluentes atmosféricos tem se tornado importante para as indústrias e para os órgãos ambientais. Existem muitos equipamentos ou analisadores para monitoramento das emissões de fontes estacionárias. Algumas fontes muitas vezes necessitam somente de monitores de opacidade, em contrapartida, a seleção dos equipamentos a serem utilizados para monitoramento de fontes que emitem vários poluentes se torna difícil. A Figura 4. 52 demonstra a divisão existente entre os diferentes tipos de analisadores.



Fonte: EPA. *Continuous Air Pollution Source Monitoring Systems – Handbook*. EPA625/6-798-005. Cincinnati, 1979.

Figura 4. 52 – Analisadores para fontes emissoras.

Os princípios de funcionamento de alguns analisadores estão descritos na Tabela 4. 18.

Os analisadores de opacidade ou opacímetros - estão sendo utilizados em diversos tipos de aplicação, como segue: otimização da relação ar/combustível, em caldeiras a óleo, fornos e outros equipamentos de combustão na siderurgia, metalúrgica, petroquímica. O Opacímetro é baseado no princípio da espectrofotometria. Um feixe de luz com características definidas é projetado através do efluente gasoso no duto ou chaminé, sendo atenuado, devido com a interação da luz com a matéria, ocorrendo absorção com dispersão no particulado. A porcentagem atenuada é definida como a opacidade do particulado. A Figura 4. 53 apresenta dois tipos de opacímetros. A Figura 4. 54 apresenta exemplo de um opacímetro instalado em uma chaminé de forno de clínquer.

Tabela 4. 18 – Princípio de funcionamento dos analisadores.

Analisadores de opacidade	Analisadores de emissões gasosas		
	Sistemas extrativos	Sistemas In-situ	Sistemas Remotos
Absorção e espalhamento da luz visível	<p>Espectroscopia de absorção</p> <ul style="list-style-type: none"> • Infravermelho não-dispersivo • Absorção diferencial <p>Métodos luminescentes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quimiluminescência (NOx) • Fluorescência (SO₂) • Fotometria <p>Métodos eletroanalíticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Polarografia • Amperometria • Condutividade • Paramagnetismo (O₂) 	<p>Cross-stack</p> <ul style="list-style-type: none"> • Absorção diferencial • Correlação gás-filtro <p>In-stack</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eletrocatalise (O₂) 	Laser

Fonte: EPA. *Continuous Air Pollution Source Monitoring Systems – Handbook*. EPA625/6-798-005. Cincinnatti, 1979.

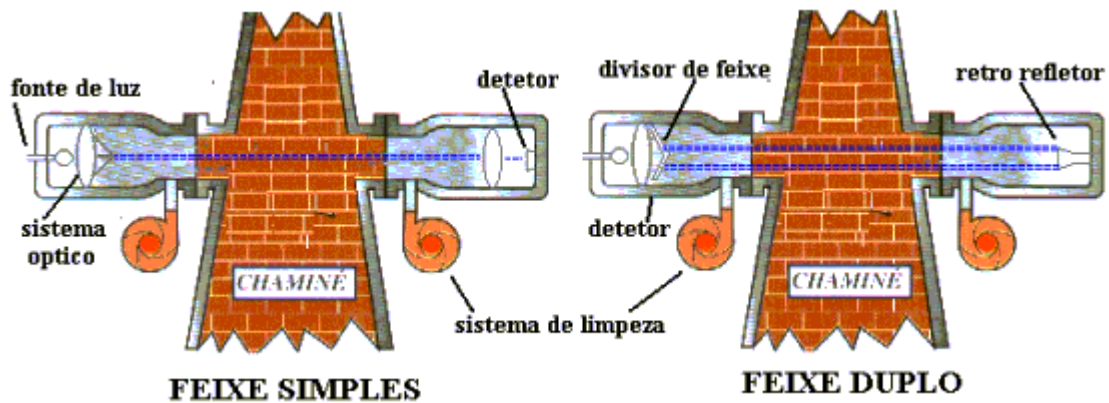


Figura 4. 53 – Tipos de opacímetros.

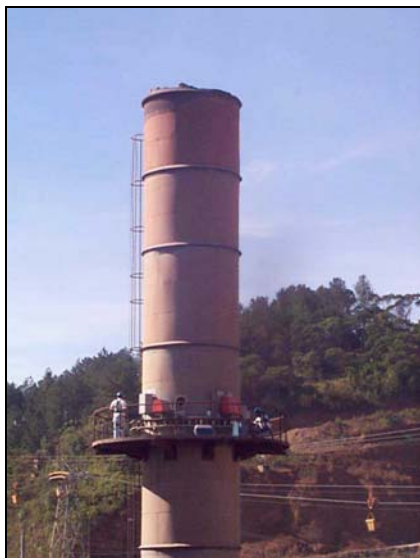


Figura 4. 54 – Opacímetro em chaminé de forno de clínquer.

Sistemas extrativos – inicialmente eram derivados dos analisadores de qualidade do ar, adaptando sistemas de diluição dos gases. Atualmente possui um conjunto de sistemas para extração de determinadas substâncias que podem interferir no resultado, a exemplo MP, água e gases específicos. Exemplo de analisador do tipo extrativo poder ser verificado na Figura 4. 55.



Figura 4. 55 - Analisador de CO₂ por sensor de Infravermelho.

Sistemas In-situ – analisam o gás existente no duto ou chaminé (sem extração ou modificação do fluxo gasoso), geralmente por técnicas de espectrometria (Figura 4. 56).

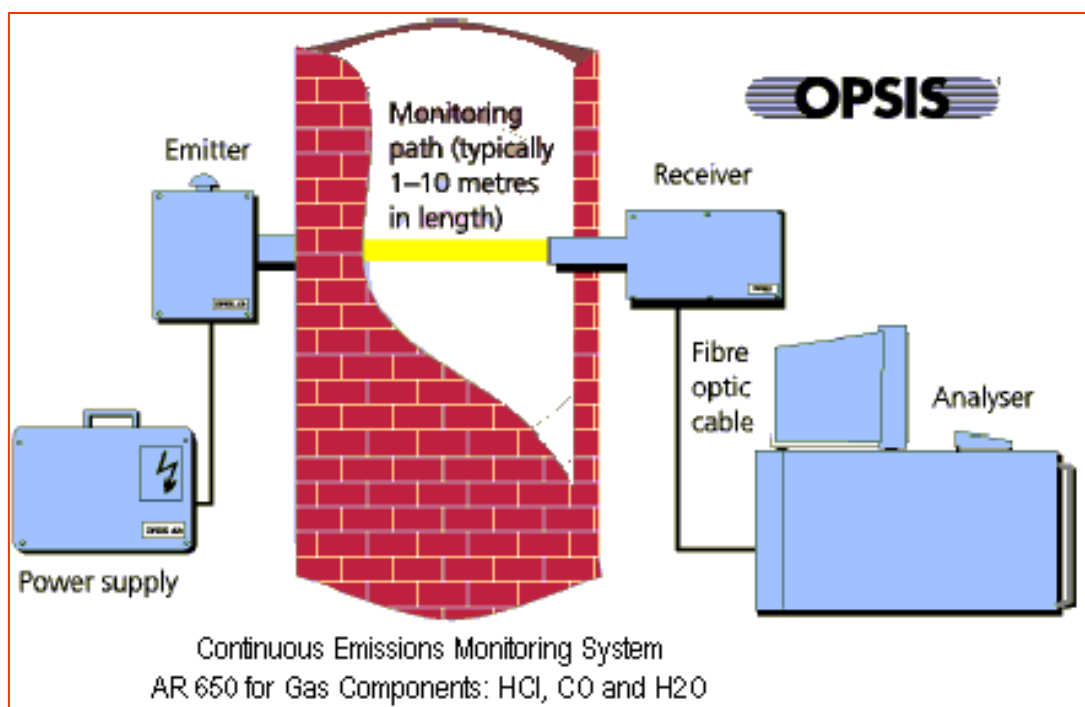


Figura 4. 56 - Analisador In-situ. Fonte: *Air Pollution Prevention Manual on Emission Monitoring.* Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit. Baden-Württemberg

Atualmente existem muitos equipamentos portáteis para monitoramento das emissões, principalmente de processos de combustão, como os da Figura 4. 57.



 <p>Portable Flue Gas Monitoring Marca LAND – Modelo LANCOM III</p>	Sensor	Range	Tipo de sensor
	O ₂	0 – 25 %	Eletroquímico
	CO _(low)	0 – 2000 ppm	Eletroquímico
	CO _(high)	0 – 4 %	Eletroquímico
	SO ₂	0 – 2000 ppm	Eletroquímico
	NO	0 – 1000 ppm	Eletroquímico
	NO ₂	0 – 100 ppm	Eletroquímico
	H ₂ S	0 – 200 ppm	Eletroquímico
	CO ₂	0 – 25 %	Infravermelho
C _x H _y	0 – 5 %	Catalítico	
 <p>PCA – Portable Combustion Analyser Marca BACHARACH – Modelo PCA 25</p>	O ₂	Oxigênio	%
	CO ₂	Dióxido de carbono	ppm
	TA	Temperatura ambiente	°C
	EF	Eficiência de combustão	%
	CO	Monóxido de carbono	ppm
	CF	CO com ref. % O ₂	ppm
	TS	Temperatura chaminé	°C
	EA	Excesso de ar	%

Figura 4. 57 - Equipamentos portáteis para monitoramento das emissões

4.5.5 Biomonitoramento

A fim de se observar a ação da poluição sobre os seres vivos, muitos experimentos têm utilizado bioindicadores, os quais, algumas vezes, são específicos indicadores de um determinado poluente. Muitas indústrias têm se aproveitado deste fato, utilizando plantas como indicadores da influência de suas próprias atividades sobre o meio natural, pois as plantas são muito mais fáceis de serem cultivadas, além de se existir o fator ético em relação ao emprego de animais.

A função dos bioindicadores é muito importante, mas é necessário que como complemento ao emprego dos seres vivos, se faça o monitoramento da qualidade do ar. Só assim pode-se confirmar a ação poluente de um gás ou metal pesado e indicar um bioindicador específico para cada um destes poluentes.

Bromélias e líquens de uma espécie tolerante à poluição têm sido utilizados de forma sistemática, nos dois últimos anos, para detectar a presença de metais pesados no ar da cidade de São Paulo (SP) e de três municípios da região do Grande ABC - região metropolitana¹⁵. A ação faz parte de um estudo realizado por pesquisadores do Ipen - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. O objetivo deles é traçar um mapa das fontes de poluição por metais e compará-las ao perfil de industrialização e urbanização da região monitorada.

Pássaros tem sido empregados como bioindicadores da contaminação do ar em minas, principalmente as de carvão.

ESPÉCIES VEGETAIS SENSÍVEIS A POLUENTES ESPECÍFICOS

Muitos estudos estão sendo realizados para se descobrir quais espécies são mais sensíveis a determinados poluentes. A maioria das espécies estudadas são aquelas conhecidas por grande parte das pessoas. Devido a facilidade de manejo e pouco tempo de crescimento são utilizadas em experimentos, plantas cultivadas normalmente em hortas e jardins. A seguir, apenas para título de curiosidade, serão expostos os poluentes com os respectivos vegetais mais sensíveis às suas ações, os quais poderão ser utilizados em estudos posteriores de sensibilidade de espécies vegetais a poluentes específicos.

Ozônio: Espécies de horticultura - milho, cebola, batata inglesa, espinafre, tomate, rabanete, tomate. Espécies ornamentais e frutíferas: crisântemo, lírio, petúnia e uva.

Dióxido de enxofre: Feijão, cenoura, alface, rabanete, espinafre, batata doce, maçã e pêra.

Fluoreto: tulipa, uva, milho, pêssego e eucalipto.

Dióxido de nitrogênio: alface e azaléia.

Nitrato de peroxiacetil (PAN): alface, tomate, dália e petúnia.

Etileno: rosa, pepino, tomate e pêssego.

As principais vantagens e desvantagens no uso de cada um dos tipos de equipamentos são apresentadas na Tabela 4. 19.

¹⁵ **Bromélias e líquens detectam metais no ar de São Paulo/SP.** Revista Eletrônica Ambiente Brasil 20/10/2004

Tabela 4. 19 - Vantagens e desvantagens no uso de cada um dos tipos de equipamentos de amostragem e poluentes atmosféricos.

<i>Equipamento</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Amostradores passivos	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo - Operação simples - Não depende de energia elétrica - Útil no mapeamento espacial da poluição 	<ul style="list-style-type: none"> - Inexistente p/ alguns poluentes - Fornece apenas médias mensais ou semanais - Exige trabalho de desenvolvimento e análise - Resultados medidos não-imediatos
Amostradores ativos	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo - Operação simples - Confiabilidade - Banco de dados / histórico 	<ul style="list-style-type: none"> - Fornece apenas médias diárias, e não horárias - Exige coleta e análise em laboratório
Analisadores automáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Engloba grande variedade de poluentes - Alta eficiência - Dados de hora em hora. - Informações <i>on-line</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Em geral são equipamentos complexos - Elevado custo - Exige especialização do operador - Altos custos de manutenção
Sensores remotos	<ul style="list-style-type: none"> - Dados integrados espacialmente - Excelente medidor de fontes específicas - Abrange vários poluentes - Medidas integradas horizontal e verticalmente na atmosfera 	<ul style="list-style-type: none"> - Muito complexos e caros - Operação e calibração difíceis - Interferência das condições atmosféricas
Bioindicadores	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de padronização - Requer análise

Fonte Senai, 2002.

AMOSTRAGENS E DETECÇÃO DE MICROORGANISMOS NO AR

Síndromes complexas surgiram ligadas à qualidade do ar interno, como a Síndrome do Edifício Doente (SED), e a Doença Relacionada ao Edifício (DRE). A má qualidade do ar em ambientes internos está também associada à perda de produtividade e abstenção no ambiente de trabalho.

No Brasil, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) estabelece as normas reguladoras da qualidade do ar em ambientes internos. Uma destas é a resolução RE nº9 de 16 de janeiro de 2003, que estabelece padrões referenciais de qualidade do ar interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.

Esta contempla a pesquisa da microbióta fúngica, aplicando-se a coleta, encubação, contagem total, e identificação dos fungos presentes no ar de ambientes internos climatizados. O objetivo é quantificar e identificar os fungos de maneira que estes sejam utilizados como marcadores epidemiológicos da Qualidade do ar (BASTOS, 2005).

É possível através desta análise obter-se uma avaliação do ambiente em relação à hipersensibilidade dos indivíduos. A resolução traz em seu texto um fator que relaciona o número de fungos do ar interno com o ar externo. Através desta relação pode-se determinar que um ambiente é dito tolerável se a contagem de fungos for no máximo 50% maior do que o ambiente externo. O número de fungos é dado em relação a unidades formadoras de colônias (UFC) e o

limite para o ambiente interno é de 750 ufc/m³. É preciso salientar que os fungos não podem ser dos tipos patogênicos e toxicogênicos (BASTOS, 2005).

A coleta de amostras é realizada utilizando-se um impactador linear do tipo Andersen, podendo este apresentar 1, 2 ou 6 estágios. A Figura 4. 58 mostra um Impactador Andersen de 1 estágio. O processo consiste de aspirar o ar com uma vazão de 28.3 l/min durante um período de 5 a 15 minutos, fazendo-o passar por um elemento filtrante e forçando-o a depositar-se em uma placa de petri contendo o meio de cultura. Para coleta de fungos, os meios de cultura indicados são o Agar Extrato de Malte, Agar Sabouraud ou o Agar Batata (BASTOS, 2005).



Figura 4. 58 – Impactador Andersen de 1 estágio.

O processo procura simular a maneira como fungos ou bactérias são inalados pelo sistema respiratório e os estágios em que ocorrem. A Figura 4. 59 ilustra este processo de inalação.

As amostras são então lacradas com fita de teflon e enviadas ao laboratório de análises para incubação, contagem e identificação de fungos, conforme rotina de embalagem com nível de biossegurança 2. O tempo de incubação mínimo é de 7 dias em uma temperatura de 25 °C permitindo-se assim o crescimento total dos fungos (BASTOS, 2005).

O número de amostragens é definido conforme a área construída do edifício. Os pontos de amostragens devem ser distribuídos uniformemente e os instrumentos devem estar localizados a uma distância de 1.5 m do chão. A Tabela 4. 20 apresenta o número mínimo de amostras em função da área construída.

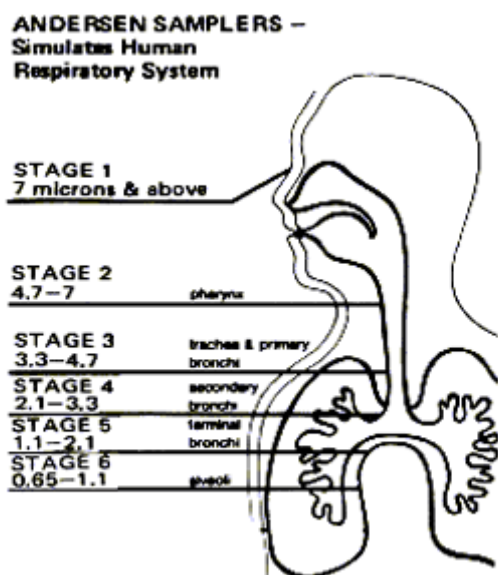


Figura 4. 59 – Relação entre o número de estágios do amostrador e os estágios de inalação do sistema respiratório – Fonte Catálogo Energética Equipamentos de Qualidade do Ar.

Tabela 4. 20 - Número mínimo de amostras em função da área construída. Fonte ANVISA (2003)

Área Construída (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1000	1
1000 a 2000	3
2000 a 3000	5
3000 a 5000	8
5000 a 10000	12
10000 a 15000	15
15000 a 20000	18
20000 a 30000	21
Acima de 30000	25

4.6 O SISTEMA DE MONITORAMENTO DA CIDADE DE SÃO PAULO

Em São Paulo, o controle da qualidade do ar é realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) através de duas redes de amostragem de ar (uma manual e a outra automática). A rede automática registra os dados a cada minuto e os envia a estação central imediatamente. A rede manual depende de um técnico para a colocação do material a ser analisado em recipientes específicos para que seja retirado 24 horas depois e posteriormente analisados em laboratórios.

O sistema de monitoramento abrange a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Cubatão e o interior do Estado de São Paulo e possui como objetivo realizar um acompanhamento dos níveis de poluição atmosférica a longo prazo e registrar a ocorrência de episódios agudos de poluição do ar.

A CETESB vem operando a rede automática de monitoramento do ar desde 1981. Esta rede é formada por 25 estações fixas, sendo que 22 delas estão situadas na Região Metropolitana de São Paulo e as outras três restantes em Cubatão, e por 2 laboratórios móveis que são utilizados sempre quando há necessidade de medir a poluição em outros locais onde não existem estações de amostragem. Os dados obtidos nas estações fixas são enviados imediatamente para uma estação central, através de linhas telefônicas privadas, aonde são processados. Já os dados obtidos nas estações móveis, são armazenados para posterior processamento com o auxílio de um computador.

A rede automática (Figura 4. 60) mede o nível de concentração dos seguintes poluentes: partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, ozônio e hidrocarbonetos - Tabela 4. 21. A velocidade e a direção dos ventos, bem como a temperatura e a umidade do ar são também determinados.

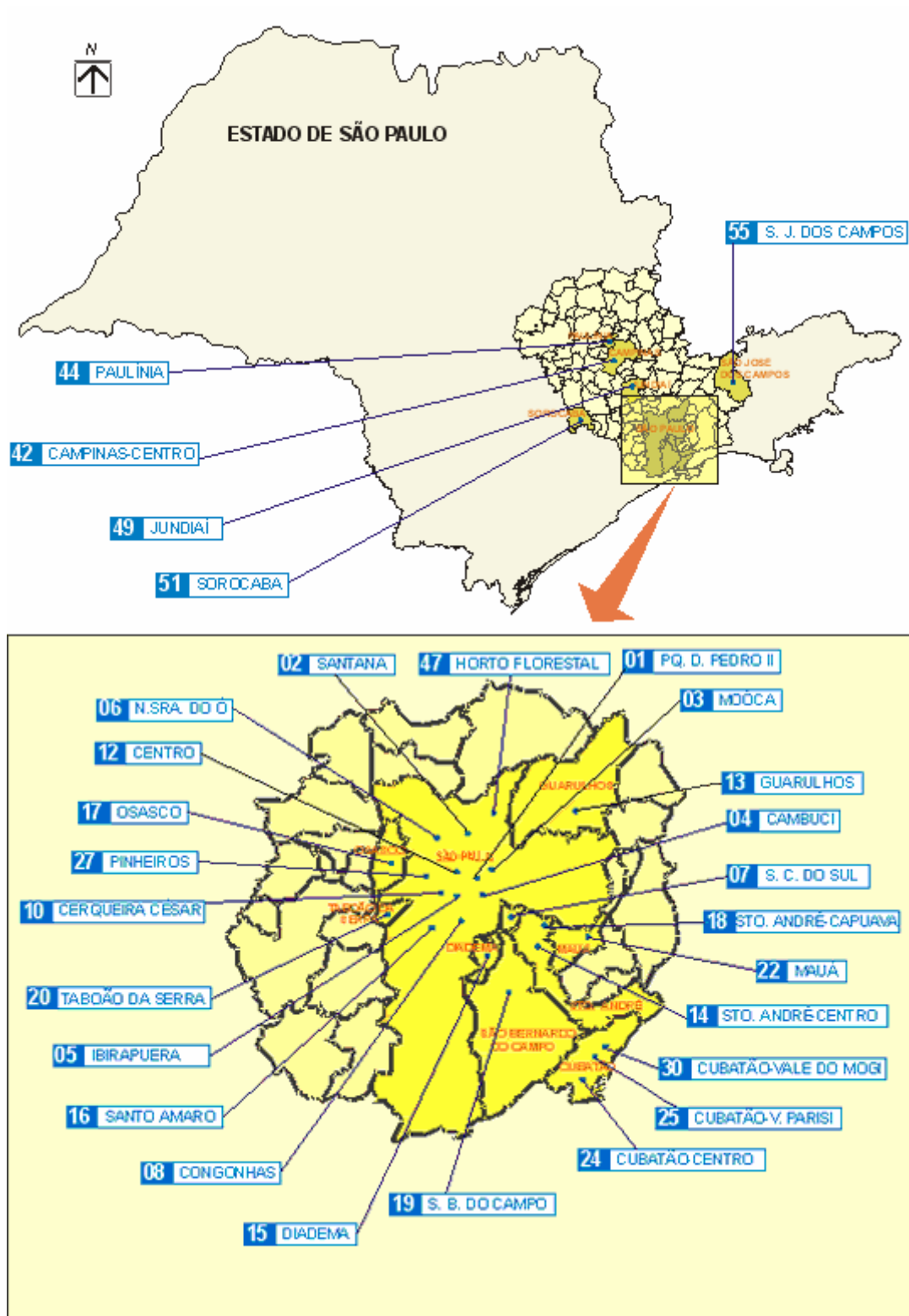


Figura 4. 60 - Localização das estações automáticas de monitoramento na cidade de São Paulo.
 Fonte: www.cetesb.sp.gov.br/Ar/mapa_estacoes.asp

As condições meteorológicas são monitoradas pela CETESB através de treze anemógrafos ligados a um sistema telemétrico, que fornecem dados de direção e velocidade do vento e três higrotermógrafos convencionais. Além destas informações próprias, a CETESB mantém convênios com várias entidades, tais como INMET/MARA, FAB, INPE, FCTH/DAEE e IPMET/UNESP, as

quais fornecem informações meteorológicas como dados sinóticos de superfície e ar superior, METAR, imagens de satélites e produtos de radares meteorológicos.

Tabela 4. 21 - Métodos de determinação dos poluentes: Rede Automática

PARÂMETRO	MÉTODO
Ácículas inaláveis	Radiação beta
Óxidos de nitrogênio	Quimiluminescência
Monóxido de carbono	Infravermelho não dispersivo
Hidrocarbonetos	Cromatografia gasosa/ ionização de chama
Dióxido de enxofre	Fluorescência de pulso (ultravioleta)
Ozônio	Ultravioleta

Todos estes dados obtidos pela rede automática (são 13 estações automáticas de qualidade do ar na capital¹⁶), geram um informe diário chamado Boletim de Qualidade do Ar, que é divulgado pela imprensa para que toda a população tome conhecimento da qualidade do ar que está respirando, além de estar disponível na internet no endereço: www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_boletim_estacoes.asp.

Para informar à população sobre a qualidade do ar existe ainda, espalhados em vários pontos da cidade, principalmente em locais de tráfego intenso, “relógios” que indicam a qualidade do ar. Diferente das estações, estes “relógios” não medem a contaminação, apenas informam o que está acontecendo na região central da cidade tomando como base uma estação da rede automática. São posicionados em pontos estratégicos para que os motoristas tenham tempo e alternativas para desviarem-se dos locais mais poluídos. Neles aparecem o nível de contaminantes (bom, regular ou ruim) e o local aonde foi registrado.

Quando o nível de poluição ultrapassa os padrões previstos em lei, a CETESB coloca em prática um plano de Emergência, com as medidas a serem tomadas em cada caso.

Atenção - é um nível de advertência, recomendando-se que se evite o uso desnecessário de carros.

Alerta - podem ser restringidos o uso de veículos e a operação de processos industriais.

Alerta prolongado - pode ser decretado feriado no município onde se verificar o aumento da poluição e proibida a circulação de veículos.

Emergência - são tomadas medidas mais drásticas, como a paralisação de toda e qualquer fonte de poluição.

Ressalta-se que o rodízio é uma alternativa de curto prazo, sendo de caráter preventivo, já que há uma estreita relação entre o agravamento da poluição ambiental e as internações e mortes por doenças respiratórias, além de outras doenças que são induzidas por cada um dos poluentes isoladamente. Porém, esta iniciativa é importante até que se mude o modelo atual do sistema de transporte e a tendência comportamental de uso individualizado dos veículos.

¹⁶ Cetesb inaugura 13ª estação de monitoramento em SP. Saneamento Ambiental OnLine nº309 - 25/6/2007

O principal objetivo do rodízio é evitar que se atinjam níveis críticos de poluição, visando à redução das emissões dos poluentes, principalmente da concentração de monóxido de carbono na atmosfera, através da retirada de cerca de 20% de sua principal fonte - os veículos. Objetiva-se também: educar o cidadão para a identificação das principais fontes emissoras de poluentes; conscientizar o cidadão sobre os efeitos da poluição sobre a saúde humana, que se fazem sentir no curto e longo prazos; provocar a discussão sobre aspectos cruciais da cidade, ressaltando a importância do planejamento, uso do solo, energia, transportes, saúde e meio ambiente; preparar a sociedade para eventuais casos de emergência por poluição excessiva do ar; melhorar o trânsito da cidade, e conseqüentemente reduzir a poluição atmosférica e sonora; provocar mudanças de hábito que se estendam para além do período de vigência do rodízio; contribuir para a formulação de políticas públicas que tragam resultados na melhoria da qualidade do ar.

O próximo passo do controle da poluição do ar, a ser dado pela Secretaria do Meio Ambiente é o programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em circulação (Programa I/M) onde se espera começar o combate à emissão antes dos veículos circularem.

4.7 AMOSTRADOR ISOCINÉTICO – MEDIÇÃO DE FONTES ESTACIONÁRIAS

O objetivo do CIPA (*Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos*) ou amostrador isocinético é obter uma amostra de material particulado suspenso em uma corrente gasosa, sem a separação mecânica do material particulado.

A maneira de se evitar que ocorra a separação mecânica, devido a inércia das partículas, é tomando-se a amostra na mesma velocidade de saída dos gases na chaminé. Por esta razão que se denomina amostrador isocinético - Figura 4. 61. As partículas coletadas representam exatamente o estado da corrente gasosa amostrada.

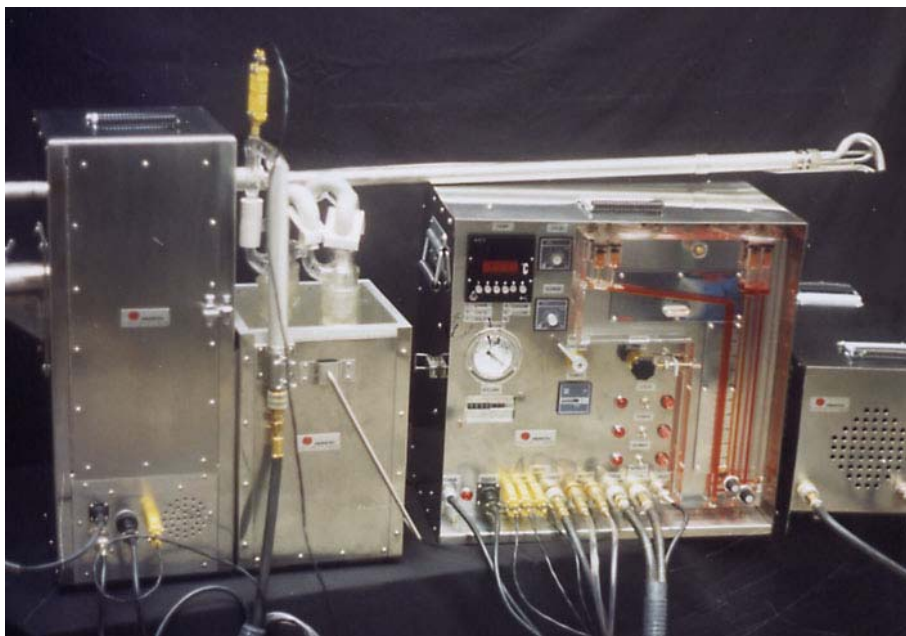


Figura 4. 61 - Amostrador isocinético.

Este equipamento pode ainda ser utilizado na amostragem de outros poluentes, como o dióxido de enxofre. Os óxidos de enxofre sempre estão unidos a partículas, uma vez que têm origem comum, resultantes da combustão de combustíveis fósseis. É utilizado, sobretudo, para amostragem em chaminés industriais.

O amostrador isocinético é composto basicamente de: sonda, caixa quente (filtro), caixa fria (borbulhadores), cordão umbilical e módulo de controle - Figura 4. 62 e Figura 4. 63.

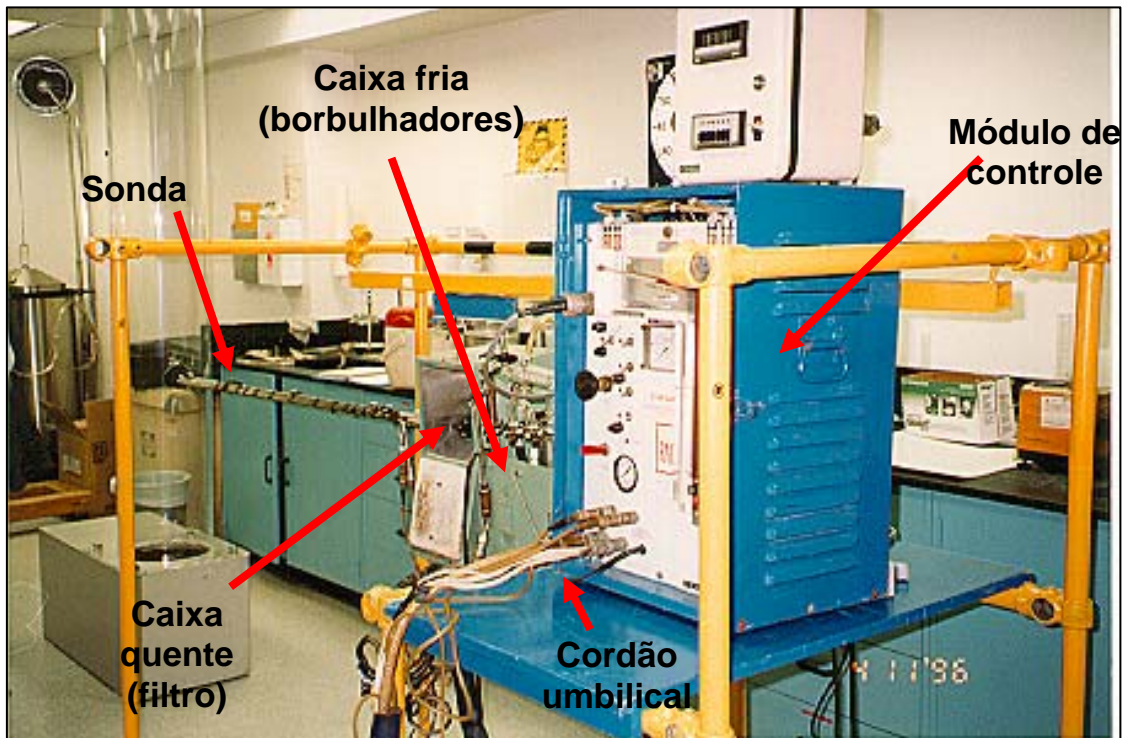


Figura 4. 62 - Coletor isocinético e suas partes

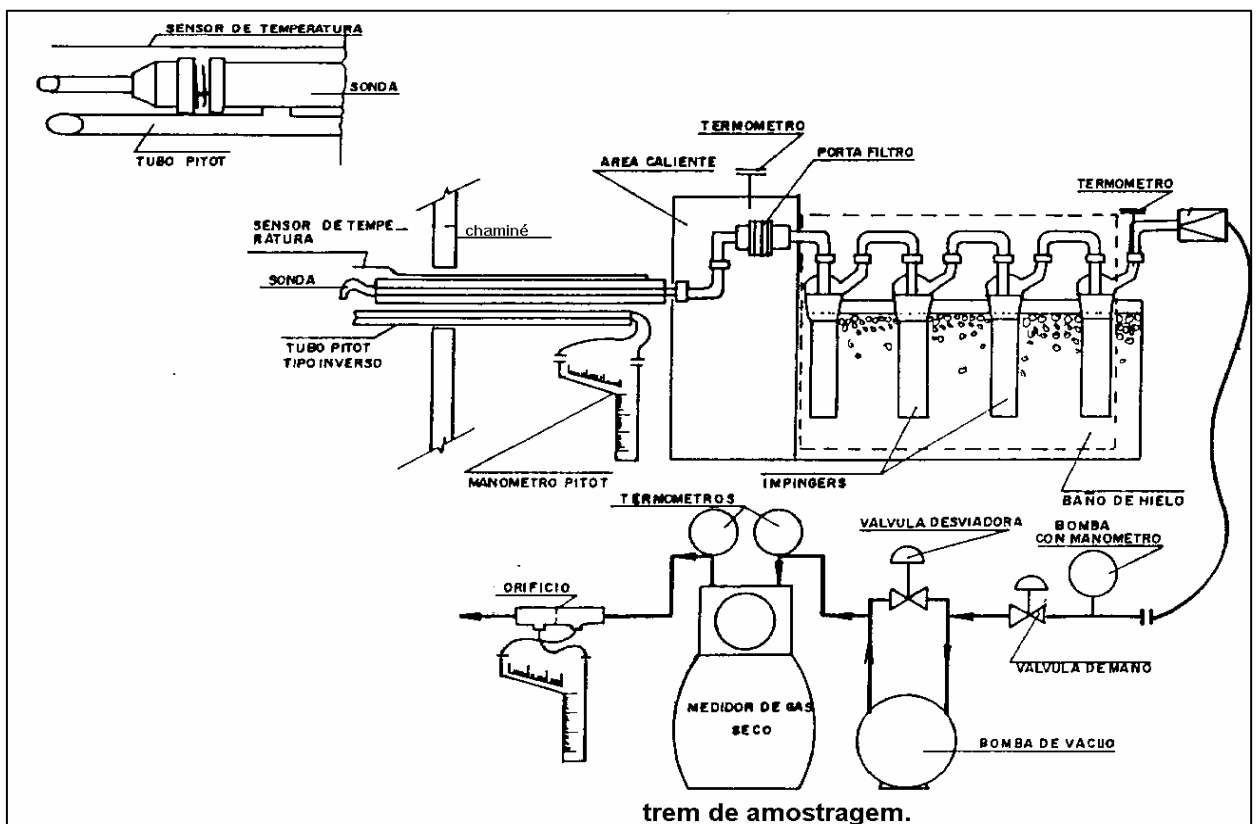
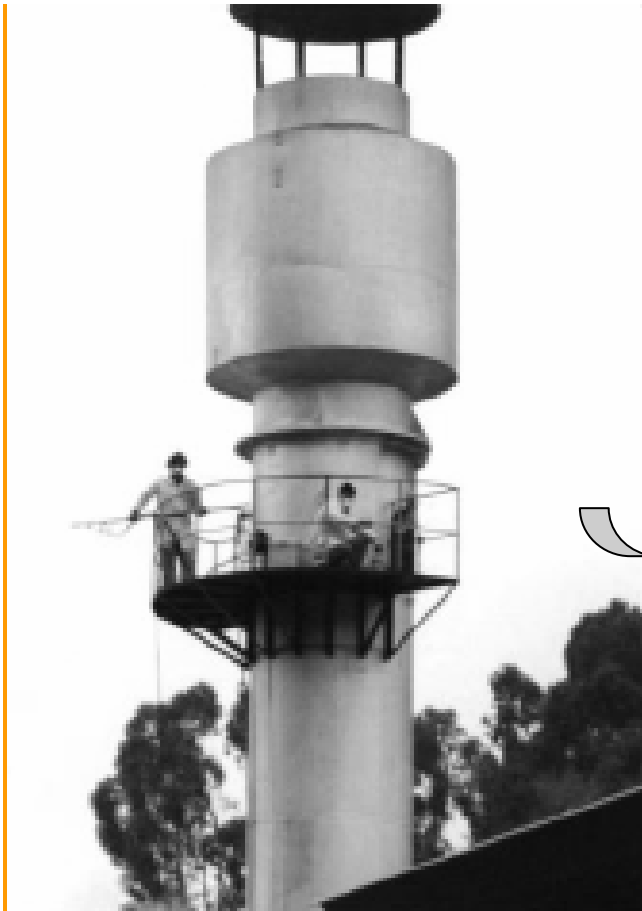


Figura 4. 63 - Detalhes do coletor isocinético.

- ◆ **Sonda:** constituída de um tubo interno com resistência de aquecimento e um tubo externo para proteção mecânica. Em sua ponta é acoplada a boquilha de coleta. Junto à sonda, firmemente preso para não girar, está um tubo de pitot tipo “S” para a medida do diferencial de pressão de velocidade. Também se encontra, na mesma, um sensor térmico para medida de temperatura da chaminé.
- ◆ **Caixa Quente:** compartimento isolado termicamente, aquecido internamente por resistência elétrica e dotado de sensor térmico para controle de aquecimento. Possui em seu interior um ciclone com coletor para reter partículas de maior tamanho e um porta filtro para filtragem e retenção de partículas de menor tamanho.
- ◆ **Caixa Fria:** compartimento isolado termicamente contendo, em banho de gelo, quatro borbulhadores (impingers), sendo os dois primeiros cheios com água ou alguma solução absorvedora, conforme o trabalho a ser realizado, o terceiro vazio e o quarto com sílica gel desidratada. O objetivo deste conjunto é a condensação da umidade do gás e/ou a reação de algum componente do gás com alguma solução absorvedora colocada nos borbulhadores 1 e 2 conforme o caso.
- ◆ **Cordão Umbilical:** conjunto flexível contendo tubulação que conduz o gás amostrado da caixa fria a unidade de controle, tubulações do tubo de pitot e fios elétricos de ligação das resistências de aquecimento e dos sensores térmicos. Interliga a caixa de amostragem à unidade de controle.
- ◆ **Módulo de Controle:** conjunto de aparelhos de medida e comandos que permitem o controle da amostragem. Contém bomba de vácuo do tipo hermético, com válvulas de controle grosso e fino, para succionar o ar amostrado da caixa fria e pressioná-lo para o medidor de volume seco (dry-gas meter) o qual, em sua tubulação de saída, possui um medidor de vazão tipo placa de orifício. Possui dois manômetros para as medidas de delta P (pressão de velocidade na chaminé) e delta H (pressão de velocidade no medidor). Possui medidor de vácuo para controle do grau de dificuldade que está tendo a bomba para executar a sucção do gás. Possui termômetro que recebe o impulso elétrico dos vários sensores distribuídos pelo aparelho. Mediante acionamento de chave seletora, nos indica a temperatura no ponto selecionado. Possui comandos de liga-desliga geral, liga-desliga aquecimento da sonda, liga-desliga aquecimento da caixa quente e liga-desliga da bomba de vácuo. Possui, também, duas chaves seletoras de intensidade de amperagem com par bimetálico para regular o aquecimento da sonda e da caixa quente.

Para uso do coletor isocinético em chaminés industriais faz-se necessário o uso de plataformas de amostragem Figura 4. 64.

Informações mais detalhadas sobre este método encontram-se no Anexo 2.



Boquilha, tubo de Pitot e sensor de temperatura

Figura 4. 64 - Preparo da coleta de MP com o coletor isocinético

4.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Air Pollution Prevention Manual on Emission Monitoring. Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit. Baden-Württemberg

BASTOS, José Edson (2005) - **Requisitos para a garantia da qualidade do ar em ambientes climatizados – enfoque em ambientes hospitalares**. Monografia de Final de Curso de, de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, CTC. UFSC. Defesa em 26/08/2005. Orientador Prof Henrique de Melo Lisboa.

EPA. **Continuous Air Pollution Source Monitoring Systems – Handbook**. EPA625/6-798-005. Cincinnati, 1979.

KAWANO, Mauricy. **Apostila Poluição Atmosférica-Qualidade do Ar**. Revisão 09. SENAI-CIC. Curitiba. 2005.

KIELY, Gerard. **Environmental Engineering**. *Berkshire England*. McGraw-Hill.1996.

KONIG, G.A. (2000) - **COMPARAÇÃO ENTRE A ESCALA RINGELMANN E A QUANTIDADE DE MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR MOTOR DIESEL**. Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFSC. Orientador Prof Henrique de Melo Lisboa

JUNIOR, Olimpio;LACAVA, Carlos;FERNANDES,Paulo. **Emissões Atmosféricas**. Ed pelo Senai. Brasília, 2002. 373 p.

Agradecimentos

CNPQ – pela bolsa de pós-doc que permitiu a organização deste capítulo.

ANEXO 1

RESOLUÇÃO/CONAMA/N.º 003 de 28 de junho de 1990

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o inciso II, do Art. 6º, da Lei n.º 7.804, de 18 de julho de 1989, e tendo em vista o disposto na Lei n.º 8.028, de 12 de abril de 1990, Decreto n.º 99.274, de 06 de junho de 1990 e, Considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País;

Considerando que a Portaria GM 0231, de 27.04.76, previa o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito;

Considerando o previsto na Resolução CONAMA n.º 05, de 15.06.89, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar "PRONAR, RESOLVE:

Art. 1º - São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo Único - Entende-se como 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:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Art. 2º - Para os efeitos desta Resolução ficam estabelecidos os seguintes conceitos:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo Único - Os padrões de qualidade do ar serão o objetivo a ser atingido mediante à estratégia de controle fixada pelos padrões de emissão e deverão orientar a elaboração de Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar.

Art. 3º - Ficam estabelecidos os seguintes **Padrões de Qualidade do Ar**:

I - Partículas Totais em Suspensão

a) Padrão Primário

1 - concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) micro gramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

II - Fumaça

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida uma de urna vez por ano.

III - Partículas Inaláveis

a) Padrão Primário e Secundário

1- concentração média aritmética anual de 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

IV - Dióxido de Enxofre

a) Padrão Primário

1- concentração média aritmética anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2- concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mas de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de,100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mas de urna vez por ano.

V- Monóxido de carbono

a) Padrão Primário e Secundário

1- concentração médio de 8 (oito) horas de 10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico de ar (9 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

2 - concentração média de 1 (urna) hora de 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico de ar (35 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VI- Ozônio

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média de 1 (uma) hora de 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico do ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VII - Dióxido de Nitrogênio

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 320 (trezentos e vinte) microgramas por metro cúbico de ar.

b) Padrão Secundário

1- concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 190 (cento e noventa) microgramas por metro cúbico de ar.

Art. 3º - Ficam estabelecidos os seguintes **métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos** a serem definidos nas respectivas Instruções Normativas:

a) Partículas Totais em Suspensão - Método de Amostrador de Grandes Volumes ou Método Equivalente.

b) Fumaça - Método da Refletância ou Método Equivalente.

c) Partículas Inaláveis - Método de Separação Inercial/Filtração ou Método Equivalente.

d) Dióxido de Enxofre - Método de Pararasilina ou Método Equivalente.

e) Monóxido de Carbono - Método do infravermelho não Dispersivo ou Método Equivalente.

f) Ozônio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

g) Dióxido de Nitrogênio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

§ 1º - Constitui-se Método de Referência, os métodos aprovados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e na ausência deles os recomendados pelo IBAMA como os mais adequados e que deva ser utilizado preferencialmente.

§ 2º - Poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA.

§ 3º - Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

Art. 4º - O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos Estados.

Art. 5º - Ficam estabelecidos os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do **Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar**, visando providências dos governos de Estado e dos Municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

§ 1º - Considera-se **Episódio Crítico de Poluição do Ar** a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

§ 2º - Ficam estabelecidos os **Níveis de Atenção, Alerta e Emergência**, para a execução do Plano.

§ 3º - Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio, bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados.

§ 4º - As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de Atenção e de Alerta tem por objetivo evitar o atingimento do Nível de Emergência.

§ 5º - O Nível de Atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

1. concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
2. concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
3. produto, igual a 65x10³, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
4. concentração de monóxido de carbono (CO), média de 08 (oito) horas, de 17.000 (dezessete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);
5. concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico;
6. concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;
7. concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico.
8. concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora, de 1130 (hum mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

§ 6º - O Nível de Alerta será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

1. concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, 1.600 (hum mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;

2. concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico;
3. produto, igual a 261×103 , entre a concentração de dióxido de enxofre(SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
4. concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico (30 ppm);
5. concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora. de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
6. concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.
7. concentração de fumaça. média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.
8. concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1(urna) hora de 2.260 (dois mil, duzentos e sessenta) microgramas por metro cúbico:

§ 7º - O nível de Emergência será declarado quando prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

1. concentração de dióxido de enxofre (SO₂); média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;
2. concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
3. produto, igual a 393×103 , entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
1. concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico (40 ppm);
- a) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora de 1.000 (hum mil) microgramas por metro cúbico;
- b) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
- c) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
- d) concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora de 3.000 (três mil) microgramas por metro cúbico.

§ 8º - Cabe aos Estados a competência para indicar as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis, devendo as declarações efetuar-se por qualquer dos meios usuais de comunicação de massa.

§ 9º - Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental.

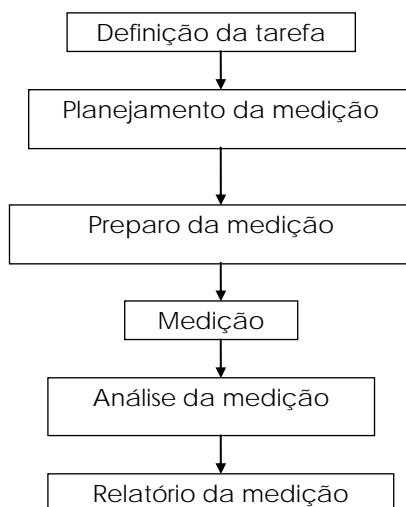
Art. 6º - Outros Padrões de Qualidade do Ar para poluentes, além dos aqui previstos, poderão ser estabelecidos pelo CONAMA, se isto vier a ser julgado necessário.

Art. 7º - Enquanto cada Estado não deferir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no item 2, sub item 2.3, da Resolução/CONAMA nº 005/89, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos nesta Resolução.

Art. 8º - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

ANEXO 2

MEDIÇÃO DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO UTILIZANDO O CIPA¹⁷



Definição da tarefa

- Quais são as informações procuradas (concentração, emissão em relação ao tempo (taxa de emissão), emissão em relação ao tipo de combustível (fator de emissão), eficiência de um equipamento, etc);
- Quais os parâmetros a serem medidos (poluentes, temperatura, pressão, etc);
- Quais as informações que já existem sobre o processo (medições anteriores, filtros, catalisadores, etc);
- Quais são os resultados esperados;
- Quais as informações existem referente a processos semelhantes;
- Quais são as prescrições da legislação.

Planejamento da medição

- onde deve ser executado a medição (qual chaminé);
- onde será localizado os orifícios na seção transversal da chaminé para introdução da sonda;
- deve-se construir uma plataforma com cobertura, eletricidade e segurança no ponto de medição;



- quantas pontos de coleta serão necessários na seção transversal selecionada;

¹⁷ Texto elaborado por Mauricy Kawano

- quem será a pessoa de contato na empresa para apoio.

Preparo da medição

- organização do material (gelo, silicagel, vidraria, reagentes, extensão elétrica, filtros, cronômetro, etc.);
- alocar uma sala na empresa para preparo de soluções e armazenamento do material não utilizado na plataforma;
- protocolo de medição (planilha para anotação dos dados da medição).

COLETA DE MATERIAL PARTICULADO

Princípio do método

O material particulado (MP) é coletado isocineticamente ponto a ponto e sua massa é determinada gravimetricamente. Simultaneamente, é determinado o volume do gás amostrado. A concentração do MP é obtida pela relação entre ambos.

Isocinetismo

Existem condições isocinéticas de amostragem sempre que a velocidade dos gases que estão sendo amostrados (V_n) na ponta da boquilha é exatamente igual a velocidade dos gases na chaminé ou duto (V_s).

A percentagem de isocineticidade está definida como:

$$\text{Isocineticidade (\%)} = \frac{V_n}{V_s} \times 100$$

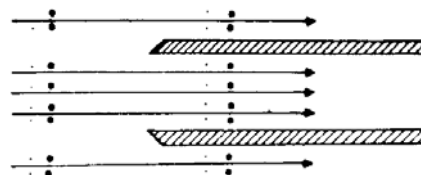
Quando V_n é diferente de V_s , a amostragem não é isocinética e pode resultar em concentrações menores ou maiores do que a realidade, segundo será visto a seguir.

Quando as linhas de fluxo de um gás são desviadas, como acontece numa amostragem não isocinética, tem-se:

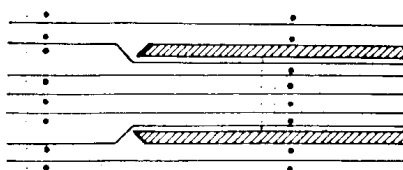
- as partículas maiores, portadoras de inércia maior, tendem a mover-se na direção inicial, não se sujeitando ao desvio de fluxo;
- as partículas menores, portadoras de pequena inércia, tendem a acompanhar o desvio do fluxo;
- as partículas de tamanho intermediário desviam-se um pouco da trajetória original.

Numa primeira situação, supondo-se que a figura ao lado.

Por definição $V_n = V_s$ (isocinética)

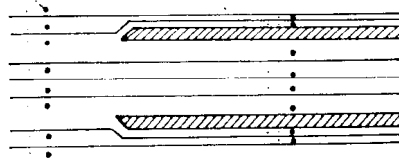


Analisando-se o caso em que, no mesmo fluxo, a velocidade de coleta é o dobro da velocidade de chaminé $V_n = 2V_s$, ou seja, 200 % de isocineticidade. Tudo ocorreria conforme a figura abaixo.



Com $V_n = 2V_s$
 $Q_n = 2 \text{ m}^3/\text{min}$

Analisando-se agora, o caso em que a velocidade de amostragem é igual à metade da velocidade de chaminé, $V_n = 1/2 V_s$, ou seja, 50 % de isocineticidade. tudo ocorreria conforme a figura abaixo.



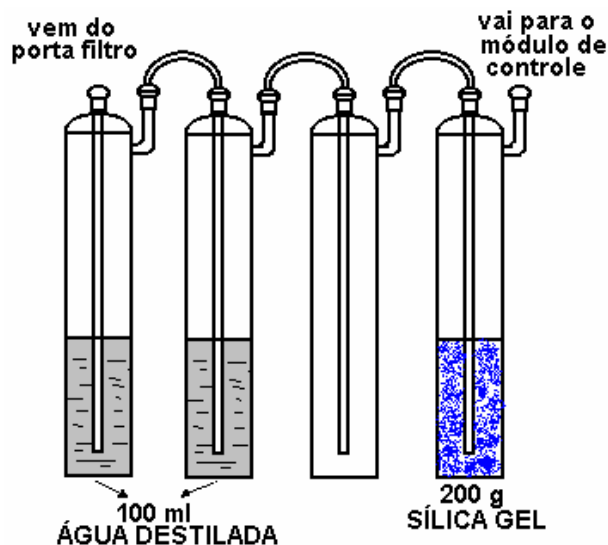
$V_n = 0,5V_s$
 $Q_n = 0,5 \text{ m}^3/\text{min}$

Os critérios que determinam quais são as faixas de tamanho e como podemos classificá-las em grandes, médias e pequenas, dependem da densidade das partículas, velocidade dos gases na chaminé, temperatura e viscosidade, forma das partículas e diâmetro da boquilha.

A situação analisada acima pode variar um pouco, dependendo da quantidade de partículas que sofreram alteração de trajetória por mudanças na velocidade de coleta. Ainda não existe uma maneira racional de avaliar o quanto se alterou uma medida de concentração por variação de isocinética. As normas técnicas que regulam o assunto consideram válida a amostragem numa faixa de 90 a 110 % de isocinética.

Passos para amostragem

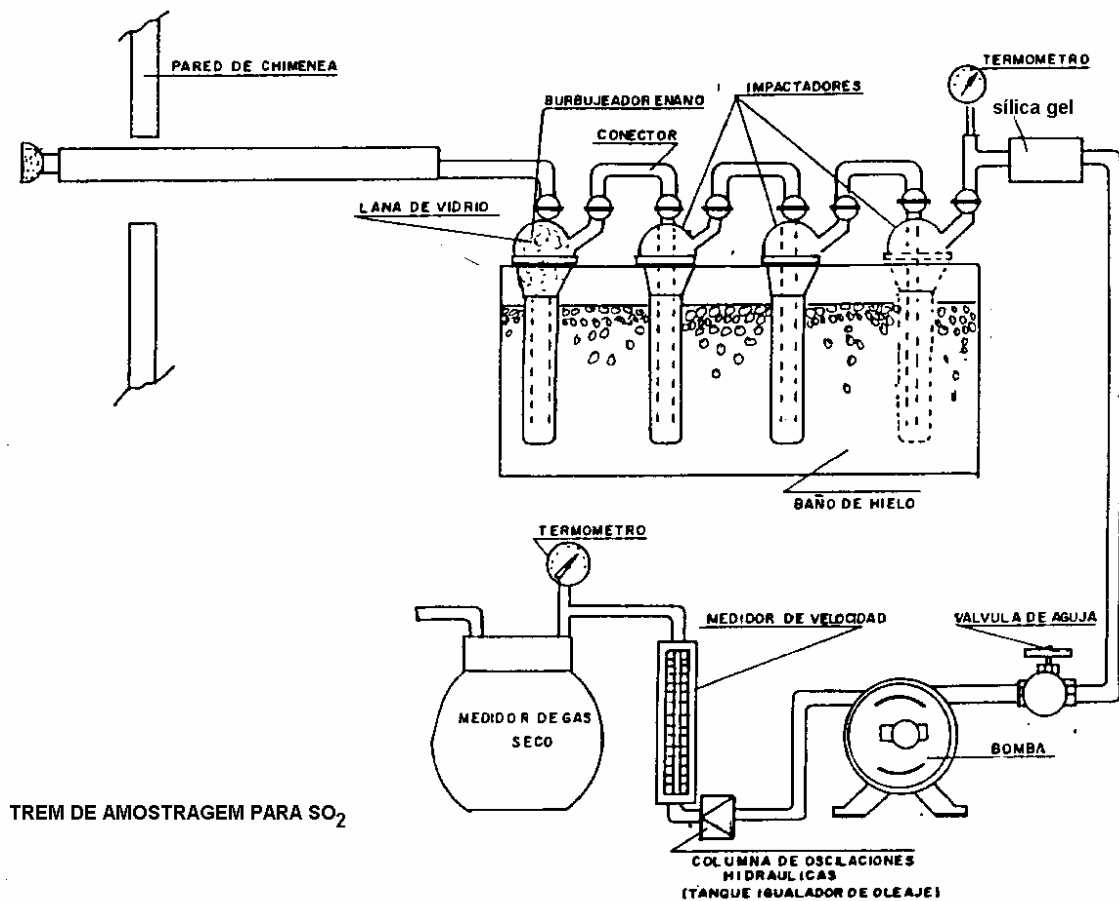
- preparar vidrarias (lavar e secar previamente);
- preparar filtro e montar Porta Filtro (secar 105°C por 2 h e em seguida pesar);
- montar e pesar os borbulhadores;
- montar o CIPA (sonda, caixa quente, caixa fria, cordão umbilical, módulo de controle e bomba);



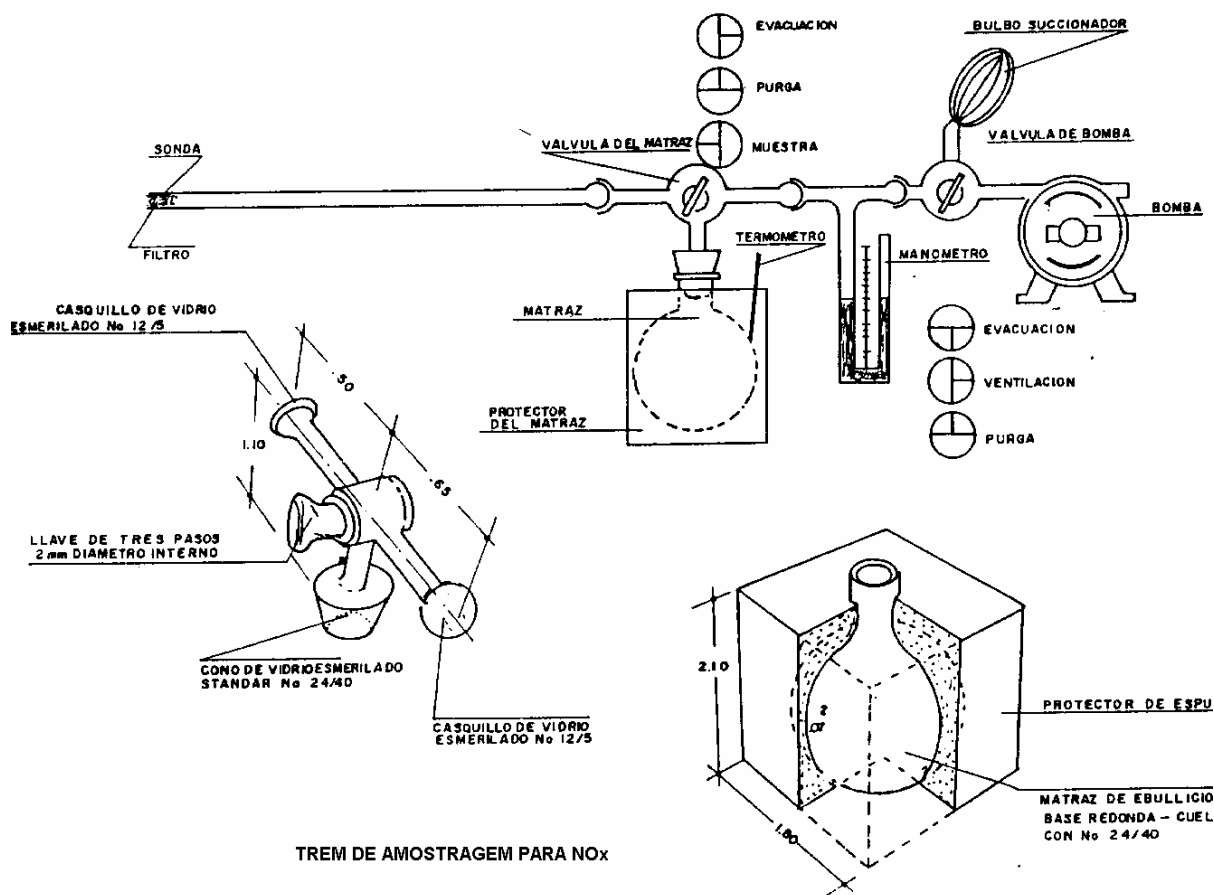
- montar porta filtro e borbulhadores na caixa quente e fria respectivamente;
- determinar a pressão estática na seção chaminé;
- determinar a temperatura na chaminé;
- determinar a pressão atmosférica do local de amostragem;

- calcular a boquilha da sonda e o fator K;
- determinar o tempo de coleta em cada ponto de amostragem;
- ligar o aquecimento da sonda e caixa quente (120 °C);
- executar o ensaio de vazamento (máx. 0,6 l/min);
- zerar gasômetro e iniciar a amostragem (tempo total da amostragem não deve ser inferior a 60 min);
- medir a concentração de CO₂ nos pontos de amostragem;
- anotar os dados de campo na planilha de medição;
- ao término da amostragem pesar novamente filtro e porta filtro;
- com os dados obtidos calcular a isocinética da amostragem (90 % - 110 %) e a taxa de emissão de MP.

MEDIÇÃO DA EMISSÃO DE DIÓXIDO DE ENXOFRE



MEDIÇÃO DA EMISSÃO DE NO_x



EXEMPLO DE UM RELATÓRIO DE AMOSTRAGEM

Ponto de Amostragem: chaminé Incinerador modelo PRK 2030

Diâmetro interno da chaminé: **0,45 m**

Material incinerado durante as coletas: **papel e madeira**

Descrição	COLETAS				Média dos resultados
	Material Particulado	Material Particulado	SO ₂ , H ₂ SO ₄ e SO ₃	SO ₂ , H ₂ SO ₄ e SO ₃	
Data da amostragem	01/09/99	31/08/99	31/08/99	31/08/99	-----
Início da amostragem	10 h 18 mim	15 h 30 mim	12 h 11 mim	12 h 11 mim	-----
Tempo amostragem	64 min	64 min	24 min	24 min	-----
Temperatura média dos gases na chaminé	75,3 °C	77,1 °C	150,8 °C	65,1 °C	92,07 °C
Umidade dos gases	13,4 %	19,2 %	31,3 %	16,5 %	20,1 %
Velocidade dos gases	2,3 m/s	2,5 m/s	3,1 m/s	2,7 m/s	2,6 m/s
Isocinética da amostragem	109,9 %	109,8 %	-----	-----	109,8 %
Vazão nas condições da chaminé	1316 m ³ /h	1431 m ³ /h	1774,4 m ³ /h	1545,4 m ³ /h	1516,7 m ³ /h
Vazão dos gases na CNTP base seca	850 Nm ³ /h	828 Nm ³ /h	743 Nm ³ /h	979 Nm ³ /h	850 Nm ³ /h
Volume medido nas CNTP	0,7091 Nm ³	0,6896 Nm ³	0,0489 Nm ³	0,0568 Nm ³	-----
Concentração de MP	31,3 mg/Nm ³	41,9 mg/Nm ³	-----	-----	36,6 mg/Nm ³
Taxa de emissão de MP	0,027 kg/h	0,035 kg/h	-----	-----	0,031 kg/h
Concentração de SO ₂	-----	-----	98,2 mg/Nm ³	28,2 mg/Nm ³	63,2 mg/Nm ³
Taxa de emissão de SO ₂	-----	-----	0,073 kg/h	0,027 kg/h	0,05 kg/h
Concentração de H ₂ SO ₄ e SO ₃	-----	-----	55,13 mg/Nm ³	4,32 mg/Nm ³	29,72 mg/Nm ³
Taxa de emissão de H ₂ SO ₄ e SO ₃	-----	-----	0,041 kg/h	0,004 kg/h	0,022 kg/h

Obs: MP - Material particulado; SO₂ - dióxido de enxofre;
H₂SO₄ - ácido sulfúrico; SO₃ - trióxido de enxofre.
Nm³ - normal m³ [volume de 1 m³ em condições normais de temperatura (0°C) e pressão (760 mm Hg)]

ANEXO 3

NORMAS PARA MONITORAMENTO

Tabela A 1 – Normas para monitoramento de qualidade do ar

TÍTULO	N° ABNT	EMIÇÃO
Corrosão atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida	NBR6211 MB1208	11/2001
<u>Corrosão atmosférica - Taxa de sulfatação - Determinação pelo método da vela de dióxido de chumbo (PbO2)</u>	NBR6921 MB1355	04/2002
Poluição do Ar-Terminologia	NBR8969 TB144	07/1985
<u>Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume</u>	NBR 9547 MB2172	09/1997
<u>Dióxido de enxofre no ar ambiente - Determinação da concentração pelo método da pararrosanilina</u>	NBR9546 MB2173	09/1986
<u>Calibração de vazão, pelo método da bolha de sabão, de bombas de baixa vazão utilizadas na avaliação de agentes químicos no ar</u>	NBR10562 MB2900	12/1988
<u>Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de fumaça pelo método da refletância da luz</u>	NBR10736 MB3028	09/1989
Atmosfera - Determinação da taxa de poeira sedimentável total	NBR12065 MB-3402	05/1991
<u>Atmosfera - Determinação da concentração de dióxido de enxofre, pelo método do peróxido de hidrogênio</u>	NBR 12979	09/1993
<u>Atmosfera - Determinação da concentração de monóxido de carbono por espectrofotometria de infravermelho não-dispersivo IVND</u>	NBR 13157	05/1994
<u>Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas</u>	NBR 13412	06/1995
<u>Agentes químicos no ar - Coleta de aerodispersóides por filtração</u>	<u>NBR12085</u> <u>MB3422</u>	<u>08/1991</u>
<u>Avaliação de agentes químicos no ar - Coleta de fibras respiráveis inorgânicas em suspensão no ar e análise por microscopia óptica de contraste de fase - Método de filtro de membrana</u>	NBR 13158	<u>05/1994</u>

Fonte: www.abnt.org.br acesso 13/09/2004

Tabela A 2 – Normas ABNT para monitoramento de emissões

TÍTULO	Nº ABNT	EMISSÃO	MÉTODO EPA EQUIVALENTE
<u>Planejamento de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias</u>	<u>NBR10700</u> <u>NB1201</u>	<u>07/1989</u>	=
<u>Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias</u>	<u>NBR10701</u> <u>NB1202</u>	<u>07/1989</u>	<u>1</u>
<u>Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da velocidade e vazão</u>	<u>NBR11966</u> <u>MB3080</u>	<u>07/1989</u>	<u>2</u>
<u>Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da massa molecular - Base seca</u>	<u>NBR10702</u> <u>MB2994</u>	<u>07/1989</u>	<u>3</u>
<u>Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da umidade</u>	<u>NBR11967</u> <u>MB3081</u>	<u>07/1989</u>	<u>4</u>
<u>Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de material particulado</u>	<u>NBR12019</u> <u>MB3355</u>	<u>12/1990</u>	<u>5</u>
<u>Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem</u>	<u>NBR12020</u> <u>MB3356</u>	<u>04/1992</u>	=
<u>Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de dióxido de enxofre, trióxido de enxofre e névoas de ácido sulfúrico</u>	<u>NBR12021</u> <u>MB3357</u>	<u>12/1990</u>	<u>8</u>
<u>Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de dióxido de enxofre</u>	<u>NBR12022</u> <u>MB3358</u>	<u>12/1990</u>	<u>6</u>
<u>Efluentes gasosos com o sistema filtrante no interior do duto ou chaminé de fontes estacionárias - Determinação de material particulado</u>	<u>NBR</u> <u>12827</u>	<u>09/1993</u>	<u>17</u>
<u>Gases - Determinação do teor de dióxido de nitrogênio - Reação de Gress-Saltzman</u>	<u>NBR11505</u> <u>MB3176</u>	<u>11/1989</u>	=

Fonte: www.abnt.org.br acesso 13/09/2004

Tabela A 1 – Normas CETESB para monitoramento de emissões

TÍTULO	Nº CETESB	EMIÇÃO
Dutos e chaminés de fontes estacionárias determinação de fluoretos pelo método do eletrodo de íon específico: método de ensaio.	L9.213	1995
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de material particulado com o sistema filtrante no interior do duto ou chaminé: método de ensaio.	L9.217	1989
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação dos pontos de amostragem: procedimento.	L9.221	1990
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da velocidade e vazão dos gases: método de ensaio.	L9.222	1992
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da massa molecular seca e do excesso de ar do fluxo gasoso: método de ensaio.	L9.223	1992
Dutos e chaminés estacionárias - determinação da umidade dos efluentes: método de ensaio.	L9.224	1993
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de material particulado: método de ensaio.	L9.225	1995
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação do dióxido de enxofre: método de ensaio.	L9.226	1992
<u>Efluentes gasosos com o sistema filtrante no interior do duto ou chaminé de fontes estacionárias - Determinação de material particulado</u>	NBR12827	09/1993
Dutos e chaminés de fontes estacionárias: determinação de enxofre reduzido total (ERT) - método de ensaio.	L9.227	1993
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de dióxido de enxofre e de nevoas de ácido sulfúrico e trióxido de enxofre: método de ensaio.	L9.228	1992
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de óxidos de nitrogênio: método de ensaio.	L9.229	1992
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de amônia gasosa: método de ensaio.	L9.230	1993
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de cloro livre e ácido clorídrico: método de ensaio.	L9.231	1994
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - amostragem de efluentes para a determinação de compostos orgânicos semivoláteis: método de ensaio.	L9.232	1990
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação do sulfeto de hidrogênio: método de ensaio.	L9.233	1990
Dutos e chaminés de fontes estacionárias: determinação de chumbo inorgânico - método de ensaio.	L9.234	1995
Dutos e chaminés de fontes estacionárias - acompanhamento de amostragem.	L9.240	1995
Dutos e chaminés de fontes estacionárias: calibração dos equipamentos utilizados na amostragem de efluentes - método de ensaio.	E16.030	1995

Fonte: <http://www.cetesb.sp.gov.br/> acesso 18/11/2004

Tabela A 2 – Normas EPA para monitoramento de emissões

TÍTULO	Nº EPA
Sample and velocity traverses for stationary sources	Method 1A
Determination of stack gas velocity and volumetric flow rate (type-s pitot tube)	Method 2
Gas analyses for carbon dioxide, oxygen, excess air and dry molecular weight	Method 3
Determination of particulate emission from stationary sources	Method 5
Determination of sulfuric acid and sulfur dioxide emission from stationary sources	Method 8
Determination of nitrogen oxides emission from stationary sources	Method 7
Isokinetic HCL/CL2 emission sampling train	Method 0050
Determination of metals emission from stationary sources.	Method 29
Voltaic organic samplim train – VOST	Method 0030
Determination of particulate and gaseous mercury emission from sewage sludge incinerators method.	Method 101A
Practical guide – trial burns to harzardous waste incinerators	EPA-600/2-86-050

Fonte: <http://www.epa.gov/ttn/emc/> acesso 18/11/2004