

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

Carlos Ibsen Vianna Lacava

Atualmente, há no mundo inteiro uma necessidade crescente de ações efetivas para obtenção de uma melhoria na qualidade do ar ambiente, principalmente nos centros urbanos. A poluição do ar tornou-se um dos fatores que mais fortemente afetam a qualidade de vida da população, uma vez que ocasiona prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente em geral.

O desenvolvimento e aplicação de estratégias apropriadas de gestão da qualidade do ar necessita em primeiro lugar da obtenção de um diagnóstico adequado dos níveis de poluição presentes. Este foi um fator enfatizado na Agenda 21, elaborada durante a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento e Meio Ambiente, no Rio de Janeiro, em 1992 (ECO 92).

www.agenda21.org.br/index2.htm

Agenda 21 • Português

www.mma.gov.br

Ministério do Meio Ambiente • Português

Os níveis de concentração de poluentes devem ser conhecidos em várias escalas de tempo e espaço. Destaca-se ainda a importância da qualidade dos dados gerados, ou seja, o nível de precisão das medidas deve ser conhecido.

A avaliação da qualidade do ar, sob um ponto de vista bem amplo, não é uma tarefa simples, porque envolve não somente a medição da qualidade do ar ambiente, mas

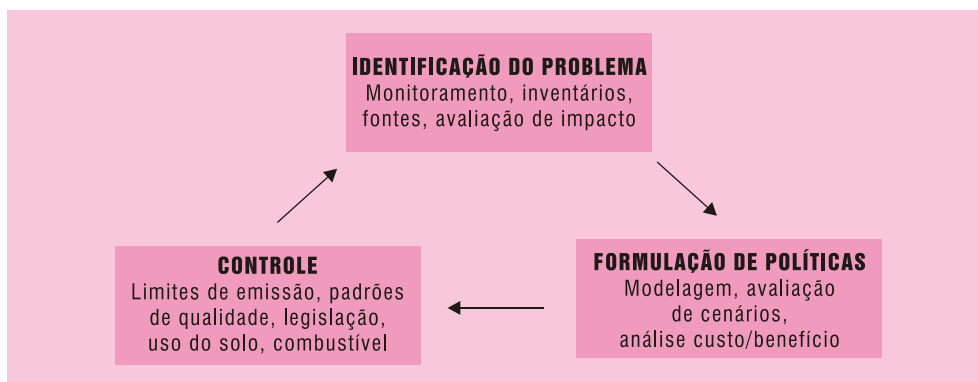
Este capítulo aborda quatro aspectos da avaliação da qualidade do ar: o monitoramento, que trata das redes e estações de monitoramento atmosférico e do controle da qualidade de dados; os equipamentos de amostragem e os métodos de medição; a modelagem da dispersão dos poluentes, que trata de diferentes aspectos teóricos e dos tipos de modelos; e a questão dos odores e seu estudo.

também a identificação das principais fontes que causam a poluição medida, estudos de tendência, estimativa da poluição em áreas não monitoradas, e até mesmo a previsão de impacto na qualidade do ar de fontes ainda não instaladas.

As três principais ferramentas utilizadas para avaliação da qualidade do ar são:

- monitoramento da qualidade do ar ambiente;
- modelagem da qualidade do ar;
- inventário de emissões.

Todas essas ferramentas são importantes e complementares para que se tenha uma completa avaliação da qualidade do ar em uma dada região. O Quadro 2 ilustra o papel da avaliação da qualidade do ar dentro do processo de gestão da qualidade do ar como um todo.



Fonte: Adaptado de WHO, 1991.

QUADRO 2 – GESTÃO DA QUALIDADE DO AR

Trata-se, a seguir neste capítulo, dos métodos e sistemas usados para monitoramento da qualidade do ar ambiente, dando ênfase para aqueles poluentes legalmente regulamentados, como SO_2 , MP_{10} , NO_2 , CO e O_3 .

2.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

DEFINIÇÃO

Em um passado recente, a avaliação da qualidade do ar era quase sinônimo de monitoramento da qualidade do ar, ou seja, os maiores investimentos em termos de avaliação da poluição atmosférica, tanto do ponto de vista econômico quanto de recursos humanos, eram voltados para a operação de grandes redes de monitoramento da qualidade do ar; isto significa que a maior parte dos recursos era gasta em diagnóstico. Um dos principais objetivos dessas redes era produzir mapas com isolinhas de concentração (isoietas) e identificar pontos de máxima poluição.

Mais recentemente, especialistas têm recomendado esforços maiores na elaboração de bons inventários de emissão, implantação de modelos de qualidade do ar, elaboração e implantação de novas estratégias de controle. Isso significa dizer que o monitoramento não implica meramente coletar dados, mas sim fornecer informações necessárias ao planejamento e à definição de estratégias relativas ao controle da poluição do ar.

OBJETIVOS

Embora possa parecer óbvio, a definição prévia dos objetivos do monitoramento da qualidade do ar, de maneira bem clara, é crucial, pois é com base neles que se define o *design* da rede de monitoramento, ou seja, suas características em termos de localização das estações, o tipo de poluente a ser medido, o tipo de equipamento utilizado, os custos envolvidos, etc. Objetivos que não estejam bem definidos podem resultar em custos excessivos e/ou informações insuficientes para um diagnóstico efetivo da qualidade do ar ambiente.

Dentre os objetivos típicos de uma rede de monitoramento da qualidade do ar podemos citar:

- criar uma base científica para o desenvolvimento de estratégias e priorização de ações de controle da poluição;
- avaliar a eficácia de ações de controle da poluição;
- avaliar as tendências da qualidade do ar, permitindo até mesmo identificar futuros problemas de poluição do ar;

- determinar o nível de exposição da população e avaliação dos efeitos da poluição sobre a saúde;
- avaliar se os níveis de poluição estão atendendo aos padrões legais;
- informar a população sobre os níveis de poluição do ar;
- fornecer informações para o gerenciamento da qualidade do ar, em termos de planejamento de tráfego e uso do solo;
- identificar as principais fontes poluidoras;
- avaliar o impacto de determinadas fontes;
- identificar a influência da poluição do ar sobre os ecossistemas em geral;
- desenvolver e validar ferramentas de gestão atmosférica (modelos de qualidade do ar, sistemas de informações geográficas [SIG], etc.).

Especificamente em termos de avaliação dos níveis de concentrações dos poluentes e para que a rede atenda efetivamente aos objetivos acima citados, é importante que a rede de monitoramento forneça informações sobre:

- concentrações mais altas de poluentes para a área de abrangência da rede;
- concentrações representativas das áreas de maior densidade populacional;
- impacto da poluição no meio ambiente devido a determinadas fontes ou grupo de fontes;
- níveis gerais de concentração de poluentes na atmosfera para a região (*background concentration*).

Embora uma rede de monitoramento possa ter um único dos objetivos citados, é mais comum abranger a maior parte deles.

É importante ainda ter em mente que uma rede de monitoramento é formada por diversas estações e que uma estação de monitoramento é implantada para atender, prioritariamente, a um objetivo, embora possa atender a vários objetivos simultaneamente. Assim, uma rede de monitoramento bem dimensionada pode consistir de um grupo de estações em que diferentes estações respondem a diferentes objetivos.

CARACTERÍSTICAS DAS REDES E ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

Conforme já visto, a maior parte das redes de monitoramento é projetada para atingir diversos objetivos. Obviamente, o melhor projeto de uma rede de monitoramento é aquele que ofereça o máximo de informações com o mínimo custo, e que não apresente qualquer duplicação de informações. A operação de estações de monitoramento por diferentes órgãos ocorre em determinados países, exigindo programas de harmonização e otimização das informações disponíveis.

Além dos objetivos que caracterizam uma rede de monitoramento, há três fatores que são determinantes na definição de suas características e que vão exercer grande influência na decisão a respeito do número de estações de medição, dos poluentes a serem monitorados e dos equipamentos escolhidos para medição. Tais fatores são:

- os custos envolvidos;
- os recursos humanos necessários;
- o tempo necessário e desejado para implantação e operação da rede.

Em termos do impacto sobre a saúde da população, deve-se considerar:

- o local onde há população;
- a que poluente a população está mais exposta e por quanto tempo;
- em que microrregiões há exposições importantes a monitorar.

Quanto ao número de equipamentos e de estações, é importante considerar que isso depende:

- dos objetivos da rede;
- da área a ser coberta;
- da variabilidade espacial dos poluentes;
- do tipo de equipamentos a utilizar (monitores);
- dos recursos disponíveis e necessários (humanos, financeiros e de tempo para implantação).

A maior parte das redes de monitoramento existentes tem objetivos que não diferem dos objetivos já descritos: cada estação fornece dados para avaliação da poluição na área de cobertura de uma única rede. Todavia, há casos em que uma mesma estação pode fazer parte de mais de uma rede de monitoramento que possui objetivos distintos.

Um exemplo de redes de monitoramento superpostas em escalas espaciais distintas e com diferentes objetivos é fornecido pela US-EPA, que possui redes locais ou estaduais de monitoramento, em que algumas de suas estações fazem parte também de uma rede nacional de monitoramento ou, ainda, de uma rede específica para avaliação da poluição por oxidantes fotoquímicos, como o ozônio. Obviamente, as características, ou classificação das estações, é que irão definir sua condição para o cumprimento dos objetivos pelas diferentes redes de monitoramento.

Classificação das estações de monitoramento

A classificação das estações de monitoramento se refere ao conjunto de informações de uma dada estação que permite caracterizar a poluição que ela está medindo, principalmente em termos: a) das fontes que estão influenciando; b) da população que está exposta àquelas concentrações; c) da área de abrangência da estação.

Existem hoje diversas classificações de redes de monitoramento no mundo inteiro; todas elas fornecem informações similares. Apresentam-se aqui classificações que são baseadas, principalmente, nos critérios utilizados pela US-EPA.

A escala espacial define a área de abrangência em que os níveis de concentração e os valores medidos pela estação podem ser considerados similares. As escalas espaciais de maior interesse, conforme o objetivo a que se destinam, estão apresentadas na Tabela 26.

TABELA 26 – ESCALAS DE ABRANGÊNCIA ESPACIAL DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DO AR	
Escala de Representatividade	Área de Abrangência
Microescala	Concentrações abrangendo áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;
Média escala	Concentrações para blocos de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes) com dimensões entre 100 e 500 metros;
Escala de bairro	Concentrações para áreas da cidade (bairros), com atividade uniforme, com dimensões de 500 a 4.000 metros;
Escala urbana	Concentrações de cidade ou regiões metropolitanas da ordem de 4 a 50 km;
Escala regional	Concentrações geralmente de uma área rural, de geografia razoavelmente uniforme e de dimensões de dezenas a centenas de quilômetros;
Escalas nacional e global	Concentrações de um país e do planeta como um todo, respectivamente.

Fonte: US-EPA, 1996.

Com relação ao uso do solo e à respectiva exposição da população, as estações de monitoramento são normalmente classificadas de forma semelhante à apresentada na Tabela 27.

TABELA 27 – CLASSIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DO AR SEGUNDO SUAS CARACTERÍSTICAS DE USO DO SOLO E POPULAÇÃO EXPOSTA	
Característica da Estação	Descrição
Comercial	Mede a exposição da população em áreas urbanas centrais e áreas de comércio com grande movimentação de pedestres e veículos;
Urbana/concentr. de fundo (background)	Situa-se em área urbana, localizada não próxima de fontes específicas; representa as concentrações de fundo da área urbana como um todo;
Residencial	Mede a exposição da população em bairros residenciais e áreas suburbanas das cidades;
Industrial	Situa-se em área onde as fontes industriais têm grande influência nas concentrações observadas tanto em longo prazo quanto para avaliação de picos de concentração;
Próxima de vias de tráfego (veicular)	Localiza-se próximo de uma via de tráfego; mede a influência da emissão dos veículos que circulam na via (rua, estrada, etc.);
Rural	Mede as concentrações em áreas rurais; deve estar situada o mais distante possível de fontes veiculares, industriais e urbanas;
Ambiente fechado (indoor)	Mede as concentrações em ambientes domésticos e de trabalho (exceto ambientes ocupacionais).

Fonte: WHO, 1991.

Obviamente, as classificações apresentadas nas Tabelas 26 e 27 são genéricas e consideram uma rede completa de monitoramento. Todavia, cada poluente atmosférico medido apresenta características próprias em termos de distribuição espacial, fontes que os originam e de padrões legais.

Estas características determinam as necessidades individuais em termos dos locais e escalas de representatividade mais adequados ao monitoramento. Assim, nem sempre um mesmo local é adequado para medir todos os tipos de poluentes. Por exemplo: estações próximas de vias de tráfego são importantes para monitoramento de poluentes emitidos pelos veículos, mas não são adequadas ao monitoramento do ozônio, uma vez que este é consumido quimicamente pelo NO emitido pelos veículos. De maneira geral, a variabilidade espacial dos poluentes secundários, como o ozônio e o NO₂, tende

a ser menor que a dos poluentes primários, como o CO e o SO₂, ou seja, os níveis de concentração observados em estações que medem O₃ e NO₂ (desde que adequadamente localizadas, isto é, distante de fontes de NO) tendem a ser representativos de áreas espacialmente maiores.

Local da estação de monitoramento

Além dos objetivos, em termos de exposição, da escala espacial de representatividade e das principais fontes de emissão, a escolha do local da estação de monitoramento da qualidade do ar deve, sempre que possível, considerar e utilizar as seguintes informações:

- condições meteorológicas;
- características topográficas;
- existência de dados anteriores de qualidade do ar;
- modelagem de qualidade do ar;
- infra-estrutura e proteção contra atos de vandalismo.

Em estações de monitoramento da qualidade do ar é bastante comum incluir o monitoramento de parâmetros meteorológicos, tais como vento, temperatura e umidade. Embora tais informações meteorológicas sejam úteis (desde que as condições locais sejam adequadas à sua medição), os critérios para localização de estações meteorológicas são bastante distintos dos exigidos para localização de estações de qualidade do ar.

Na maioria dos casos, as informações meteorológicas baseadas unicamente nas medições realizadas em estações de monitoramento da qualidade do ar não são suficientes para entendimento dos processos meteorológicos relacionados à dispersão dos poluentes. Assim, é muitas vezes necessária a separação física das redes de meteorologia e qualidade do ar.

Localmente, o monitoramento da qualidade do ar exige condições necessárias e critérios específicos para a adequada medição dos poluentes. Como exemplo, apresenta-se na Tabela 28 algumas das condições locais de amostragem exigidas pela US-EPA para os poluentes prioritários e tradicionalmente medidos em áreas urbanas.

TABELA 28 – CONDIÇÕES LOCAIS DE MEDIÇÃO DE POLUENTES DEFINIDAS PELA US-EPA					
Poluente	Escala de Representatividade	Altura do amostrador** (m)	Distância de obstáculos	Distância de árvores (m)	Distância de vias de tráfego (m)
SO₂	todas	3 a 15	o dobro da altura do obstáculo acima do amostrador	20	--
CO	micro	2,5 a 3,5	--	--	2 a 10
	demais	3 a 15	o dobro da altura do obstáculo acima do amostrador	10	45*
O₃	todas	3 a 15	o dobro da altura do obstáculo acima do amostrador	20	30*
NO₂	todas	3 a 15	o dobro da altura do obstáculo acima do amostrador	20	30*
MP10	micro	2 a 7	--	--	5 a 15
	demais	2 a 15	o dobro da altura do obstáculo acima do amostrador	20	>20 m, variando conforme escala de representatividade

Fonte: US-EPA, 1996.

* Distância para uma via com tráfego médio de 20.000 veículos/dia.

** Altura do amostrador em relação ao solo.

CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS

Políticas de controle da poluição não podem ser feitas com base em séries de dados inconsistentes, com falhas em períodos longos ou com imprecisões de medida. É preferível, na maioria dos casos, não dispor de dados do que dispor de dados errados ou não confiáveis. Assim, os programas de controle de qualidade de dados são parte essencial dos sistemas de monitoramento e devem ser aplicados desde o planejamento da rede de estações de monitoramento.

Os programas de controle de qualidade de dados compreendem uma série de procedimentos que garantem que uma medida apresente um padrão de qualidade que atenda a um determinado nível de confiança conhecido.

Os programas de controle de qualidade devem garantir:

- medidas confiáveis, com precisão aceitável;
- dados representativos do ambiente;
- resultados comparáveis;
- medidas consistentes no tempo;
- boa distribuição espacial dos dados;
- otimização dos recursos.

Internacionalmente, os programas de controle de qualidade de dados de qualidade do ar são divididos em QA (Quality Assurance) e QC (Quality Control). Basicamente, o programa QA refere-se ao gerenciamento de todo o processo que interfere na qualidade do dado produzido, enquanto que o QC refere-se aos procedimentos necessários à obtenção de dados precisos.

www.who.int/home-page

World Health Organization • Inglês

www.epa.gov/quality1

The EPA Quality System • Inglês

Apresenta-se, a seguir, no Quadro 3, as principais atividades de um programa de controle de qualidade de dados de qualidade do ar, conforme sugerido pela OMS.

QA (Quality Assurance)

- Definição das características da rede (*design*)
- Escolha dos locais das estações de monitoramento
- Escolha dos instrumentos
- Definição do tipo de equipamento (amostrador)
- Desenvolvimento de programas de capacitação
- Definição de procedimentos de auditoria e geração de relatórios

QC (Quality Control)

- Elaboração de protocolos (procedimentos operacionais padrões) para operação das estações e manutenção dos equipamentos
- Elaboração de procedimentos para calibração dos equipamentos
- Elaboração de agendas de visitas às estações
- Elaboração de procedimentos para conferência, revisão e validação de dados

Fonte: WHO, 1991.

QUADRO 3. PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE QUALIDADE DO AR**2.2 EQUIPAMENTOS DE AMOSTRAGEM E MÉTODOS DE MEDIÇÃO**

O monitoramento da poluição do ar envolve medir a poluição nas escalas de tempo e espaço. Assim, 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, em especial, que possam ser comparados com os padrões legais de qualidade do ar. Desde que programas de controle de qualidade de dados tenham sido implementados na definição dos equipamentos, diferentes metodologias e tipos de monitores podem ser utilizados.

www.epd-asq.gov.hk/e/api/backqd/monitor.htm

Air Quality Monitoring Equipment • Inglês

www.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html

Criteria pollutants • Inglês

www.energetica.com.ar

Energética - Qualidade do ar • Português

Além do monitoramento realizado por equipamentos, há ainda um método menos comum de avaliação da qualidade do ar utilizando bioindicadores, conforme será tratado posteriormente.

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

Atualmente, os equipamentos que medem a poluição do ar podem ser divididos em quatro tipos, dependendo da metodologia empregada:

- Amostradores passivos;
- Amostradores ativos;
- Analisadores automáticos;
- Sensores remotos.

Esses quatro tipos mais comuns de monitores cobrem uma faixa muito grande em termos de custos e *performance*, exigindo certos cuidados na sua escolha. As principais vantagens e desvantagens no uso de cada um dos tipos de equipamentos são apresentadas na Tabela 29.

TABELA 29 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR

Equipamentos	Vantagens	Desvantagens
Amostradores passivos	Custo muito baixo Muito simples de operar Não depende de energia elétrica Pode ser utilizado em grande número Muito útil para mapeamento espacial da poluição	Inexistente para alguns poluentes Em geral fornece somente médias mensais ou semanais Exige trabalho de desenvolvimento e análise. Resultados medidos não imediatos
Amostradores ativos	Baixo custo Fácil operação Dados confiáveis Banco de dados histórico	Fornece somente médias diárias, e não horárias Exige coleta e análise em laboratório
Analísadores automáticos	Variedade de poluentes Alta eficiência Dados horários Informações <i>on-line</i>	Complexos Alto custo Exige especialização Altos custos de manutenção
Sensores remotos	Dados integrados espacialmente Bastante útil para medir poluição de fontes específicas Medidas para vários poluentes Medidas integradas horizontal e verticalmente na atmosfera	Muito complexos e caros Operação, calibração e validação por vezes difíceis Resultados não diretamente comparáveis com as medidas pontuais Interferência das condições atmosféricas

Fonte: WHO, 1991.

Muitos dos objetivos do monitoramento da poluição do ar podem ser atendidos utilizando-se amostradores passivos ou ativos, com resoluções temporais e espaciais aceitáveis. Analísadores automáticos possuem alto custo financeiro e exigem uma significativa estrutura operacional, sendo normalmente utilizados quando há necessidade de monitoramento por períodos longos (acima de cinco anos) e/ou quando os dados necessários de qualidade do ar exigem medidas de alta resolução temporal. Já os sensores remotos, apesar de ainda bastante caros e complexos, têm se tornado uma alternativa cada vez mais utilizada, principalmente pelos recursos de medição de vários poluentes com um mesmo equipamento, embora não seja usual redes de monitoramento baseadas exclusivamente em sensores remotos. Com relação ao biomonitoramento, embora seja uma técnica de baixo custo e simples para detecção da poluição do ar, ainda não se constitui como método padrão para programas de monitoramento.

No caso de ambientes fechados (*indoor*), os métodos de medição da qualidade do ar não diferem muito dos métodos utilizados em ambientes abertos, embora o uso de alguns equipamentos, como os sensores remotos ou que produzam excessivo ruído, seja claramente inapropriado. Uma vez que a ênfase do monitoramento em ambientes fechados é normalmente a exposição dos seres humanos, o uso de monitores portáteis é preferível. A maior parte do monitoramento realizado em ambientes fechados utiliza amostradores passivos ou ativos, uma vez que, embora em muitos casos a avaliação da exposição aguda necessite de analisadores automáticos, há uma grande dificuldade de instalação dos mesmos.

AMOSTRADORES PASSIVOS

A amostragem é realizada em um período de tempo definido (normalmente uma semana ou um mês). A amostra é obtida por difusão molecular, mediante um equipamento (tubo ou disco amostrador passivo) que utiliza um filtro com material absorvente para um poluente específico exposto às concentrações ambientes, que posteriormente é analisado em laboratório.

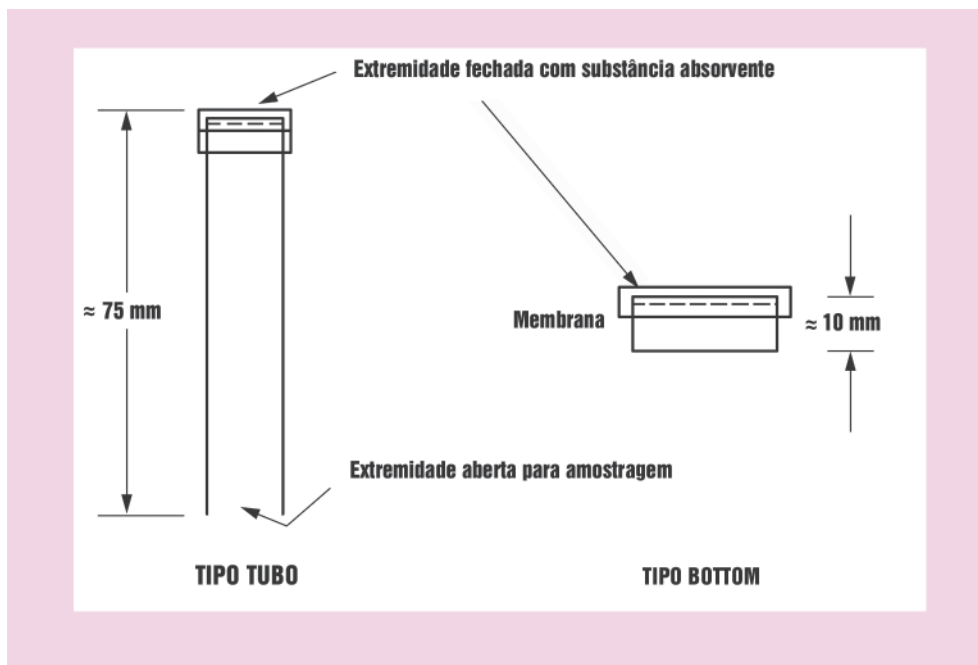
As principais vantagens dos amostradores passivos são sua simplicidade e baixo custo, que permite que vários deles possam ser instalados simultaneamente, fornecendo informações úteis sobre a distribuição espacial dos poluentes. Uma das limitações no uso dos amostradores passivos é que, devido à sua baixa resolução temporal, não é possível comparar os níveis medidos com os PQAr de curto prazo.

Em uma rede de amostragem, os amostradores passivos podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto com outros tipos de amostradores, como analisadores automáticos. Existem amostradores passivos desenvolvidos ou em desenvolvimento para a maioria dos poluentes urbanos gasosos prioritários, entre eles: NO_2 , SO_2 , NH_3 (amônia), COVs (compostos orgânicos voláteis) e O_3 .

Princípio de funcionamento dos amostradores passivos

O amostrador passivo é um equipamento capaz de coletar amostras de poluentes gasosos ou vapor na atmosfera em uma taxa controlada por processos físicos, como difusão através de uma camada estática ou permeação através de uma membrana. Os amostradores passivos não necessitam do uso de bombas ou outro tipo de equipamento de sucção que force o movimento de um volume de ar através deles.

Os atuais amostradores passivos, desenvolvidos a partir da década de 1970, devem ser distinguidos dos métodos passivos de geração anterior, que utilizavam superfícies de absorção diretamente expostas ao ar e eram fortemente influenciados pelas condições meteorológicas. Os amostradores passivos atuais são compostos geralmente por um tubo (*Palmes Tubes*), ou, num formato mais chato, como um disco ou *bottom* com uma extremidade aberta protegida do vento por uma membrana ou algo equivalente, e outra fechada funcionando como meio absorvedor do poluente gasoso a ser monitorado, conforme ilustrado na Figura 13.



Fonte: UNEP-WHO, 1994.

FIGURA 13 – TIPOS DE AMOSTRADORES PASSIVOS

O processo de funcionamento dos tubos amostradores é realizado por meio da difusão molecular do gás a partir da região de concentração mais alta, na extremidade aberta, para a região de “A” em um gás “B” descrito pela Lei de Fick, em que o fluxo do gás é proporcional ao gradiente da concentração.

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

Onde

J = fluxo do gás A no gás B através de uma determinada área, na direção Z ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$)

C = concentração do gás A no gás B ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Z = comprimento do tubo (m)

D_{AB} = coeficiente de difusão molecular do gás A no gás B (m^2/s)

Amostradores passivos específicos**a. para dióxido de enxofre**

Existem vários métodos desenvolvidos para o monitoramento do SO_2 , sendo que os mais utilizados empregam as substâncias absorventes, umectantes e método de análise indicados na Tabela 30.

TABELA 30 – MÉTODOS DE MONITORAMENTO DO SO_2 POR MEIO DE AMOSTRADORES PASSIVOS		
Substância	Umectante	Método de análise
Trietanolamina (TEA)	glicol	Espectrofotometria (Hangartner et al., 1989)
Hidróxido de potássio (KOH)	glicerol	Espectrofotometria (Hargreaves and Atkins, 1988)
Carbonato de sódio (Na_2CO_3)	glicerina	Cromatografia de troca iônica (Ferm, 1991)

Fonte: UNEP-WHO, 1994.

Mais recentemente, diversos métodos derivados dos métodos citados na Tabela 30 foram desenvolvidos e têm sido utilizados. Para análise, a cromatografia de troca iônica tem sido informalmente aceita como método padrão para SO_2 em amostradores passivos.

b. para dióxido de nitrogênio

O monitoramento de NO_2 por amostradores passivos tem sido amplamente utilizado, fornecendo médias que são calculadas normalmente em períodos de duas a quatro semanas. Essas amostragens têm permitido identificar a distribuição espacial do NO_2 em áreas urbanas e rurais.

As técnicas mais amplamente utilizadas são variações dos amostradores em formato de tubos tipo Palmes (Palmes et al., 1976), usando trietanolamina (TEA) como absorvente. A análise das amostras coletadas é feita por espectrofotometria ou cromatografia de troca iônica.

c. para monóxido de carbono

Amostradores passivos para CO foram desenvolvidos utilizando um absorvente zeólito através de método que utiliza uma coluna estreita de difusão colocada em um tubo de vidro. A amostra é então analisada por cromatografia gasosa e por um detector de ionização de chama.

d. para ozônio

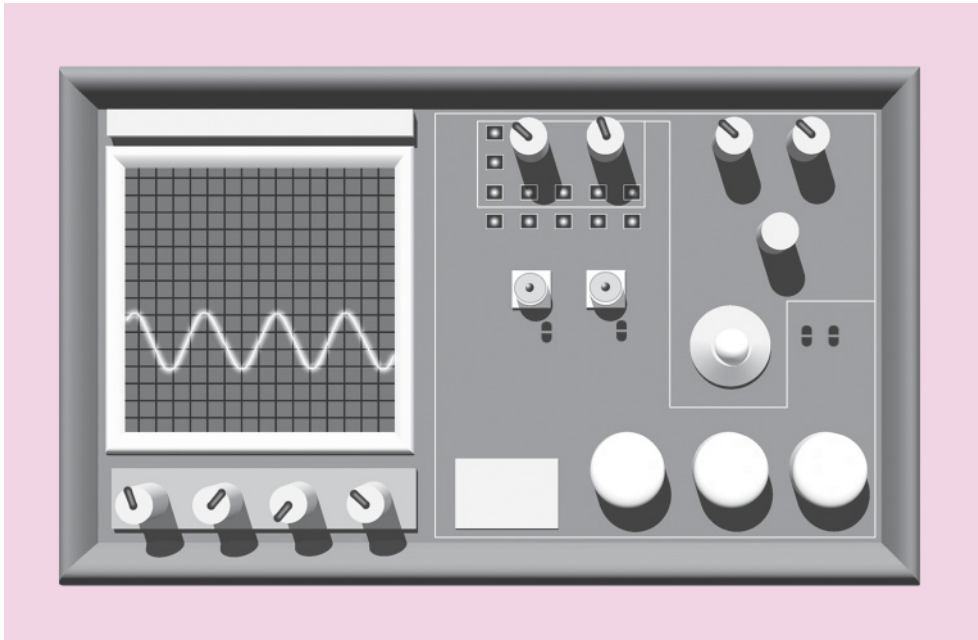
A Tabela 31 apresenta algumas das várias técnicas desenvolvidas para medir O₃.

TABELA 31 – MÉTODOS DE MONITORAMENTO DO O₃ POR MEIO DE AMOSTRADORES PASSIVOS		
Substância	Umectante	Método de análise
1,2-di-(4-piridil)	etileno (DPE)	Espectrofotometria (Moon and Hangartner, 1990)
Corante indigo	carmim(KI)	Espectrofotometria (Grosjean and Hisham, 1992)
NaNO₂-Na₂CO₃	glicerina	Cromatografia iônica (Koutrakis et al., 1990)
Corante indigo	carmim(KI)	Refletância (Alexander et al., 1991)

Fonte: UNEP-WHO, 1994.

AMOSTRADORES ATIVOS

O uso de amostradores ativos (Figura 14) foi amplamente difundido, e as séries históricas de dados obtidos por estes métodos permitiram a caracterização espacial e as tendências da poluição em muitos países. Os amostradores ativos mais utilizados são para medir SO₂ e MP, embora existam muitos métodos utilizados também para medir NO₂, O₃ e Pb. Mais recentemente, o uso desse tipo de equipamento para o monitoramento de gases tem sido reduzido, com a substituição principalmente por analisadores automáticos. Todavia, a amostragem com filtros ainda é bastante utilizada para medição de MP.



Fonte: www.aeat.co.uk/netcen/airqual/networks/faq/howmon.html#pass

FIGURA 14 – AMOSTRADOR ATIVO

Princípio de funcionamento

Nos amostradores ativos, um certo volume de ar é sugado por uma bomba e passa através de um 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 processo de absorção, adsorção, impactação, filtração, difusão, reação ou por uma combinação de dois ou mais desses processos. Posteriormente, as amostras são analisadas em laboratório para determinação da concentração do poluente de interesse.

www.aeat.co.uk/netcen/airqual/networks/faq/howmon.html

How is Air Pollution Measured? • Inglês

No caso dos amostradores para gases, um grande número de meios coletores foi desenvolvido, sendo os tipos mais comuns os frascos borbulhadores ou *impingers*.

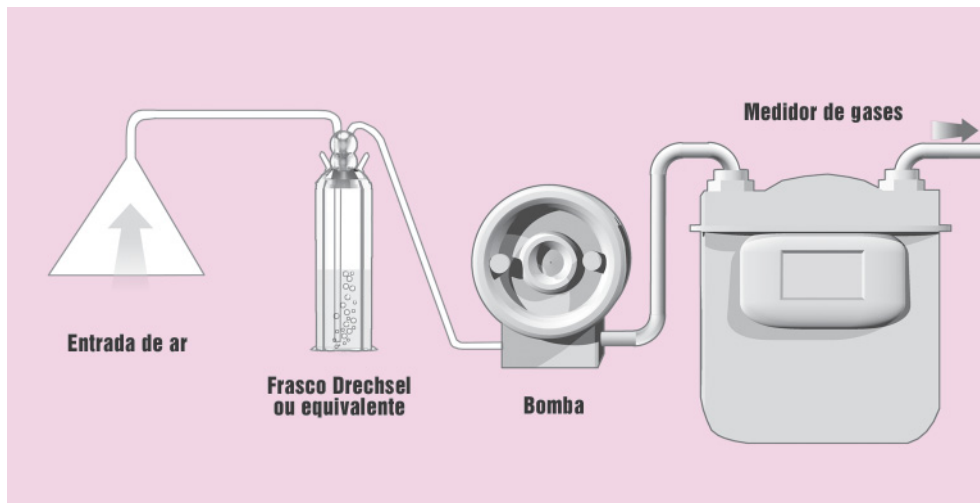
Outro método é a utilização de filtros impregnados com uma solução contendo substâncias químicas específicas, em que um determinado volume de ar passa através

do filtro e o poluente de interesse reage com a solução química. O produto da reação é posteriormente analisado em laboratório.

O equipamento mínimo requerido para amostragem por absorção é composto por:

- funil e tubo coletores;
- meio coletor ou filtro impregnado;
- medidor de vazão de gases ou controlador de fluxo;
- bomba de vácuo.

A Figura 15 ilustra um amostrador com a configuração mínima para amostragem de SO_2 . Nessa figura é possível também observar um frasco borbulhador.



Fonte: UNEP-WHO, 1994.

FIGURA 15 – EQUIPAMENTO MÍNIMO PARA AMOSTRAGEM DE SO_2 EM UMA SOLUÇÃO ABSORVENTE

Além desses itens, outros ainda podem ser acrescentados ao sistema de amostragem com o objetivo de melhorar o controle da vazão, para manutenção da integridade da amostra ou, ainda, para obter múltiplas amostras. São eles:

- calibrador de pressão;
- pré-filtro;
- controlador de fluxo;
- válvulas;
- contador de horas (horímetro).

Amostradores ativos específicos

O princípio básico de amostragem de SO_2 na atmosfera é pela passagem de um volume de ar captado na atmosfera através de um meio coletor (normalmente um líquido em um frasco borbulhador) por um tempo específico, normalmente 24 horas. Posteriormente, a amostra é analisada em laboratório, onde então é determinada a concentração do poluente. Esse princípio básico de amostragem tem sido utilizado há muitos anos em muitos países, principalmente porque o SO_2 é o principal causador da chuva ácida. Sua utilização permitiu a criação de séries históricas de dados de concentração do SO_2 no ar ambiente e uma avaliação dos programas de controle de emissão.

Há vários métodos de monitoramento do SO_2 que utilizam esse mesmo princípio de amostragem, mas que utilizam equipamentos e meios coletores diferentes. Uma descrição completa dos equipamentos disponíveis para amostragem de SO_2 na atmosfera é apresentada na norma internacional ISO 4219. É feita, a seguir, uma breve descrição dos princípios de funcionamento de cada um dos principais métodos utilizados.

a. Amostradores ativos – métodos de medição de SO_2

a1 Método acidimétrico (NBR 12979)

Também conhecido como método do peróxido de hidrogênio ou acidez líquida, este método não é específico para SO_2 , pois mede a acidez total (ou acidez gasosa quando é utilizado um pré-filtro para remoção de partículas e aerossóis).

No método acidimétrico, o SO_2 presente na atmosfera é absorvido por borbulhamento em uma solução diluída de peróxido de hidrogênio, oxidando em ácido sulfúrico, que é quantificado em laboratório por meio de uma solução de tetraborato de sódio.

As principais vantagens desse método são a sua simplicidade e baixo custo. A principal desvantagem reside no fato de que a amônia e outras substâncias alcalinas presentes podem interferir nos resultados obtidos. Estudos indicam a precisão desse método em torno de $\pm 10\%$, considerando todos os fatores que podem interferir na medição.

a2 Cromatografia de troca iônica

Também nesse método, o SO_2 é coletado em uma solução diluída de peróxido de hidrogênio. Todavia, a solução com o peróxido é quantificada em íons de sulfato por meio de cromatografia de troca iônica em vez da titulação.

A principal vantagem da utilização desse método é que a amostragem é simples e a análise é específica para íons de sulfato. A principal desvantagem é que as amostras precisam retornar ao laboratório para análise, além do que o cromatógrafo é um equipamento analítico relativamente caro e sofisticado.

a3 Método da pararrosanilina (ISO 6767, NBR 9546)

Neste método, também conhecido como método do tetracloromercurato (TMC), o SO_2 é absorvido em uma solução de tetracloromercurato de potássio (ou sódio) para formar diclorossulfitomercurato complexo. Este complexo reage com a pararrosanilina e o formaldeído, formando o ácido metilpararrosanilina sulfônico, de cor intensa. A absorvância da solução colorida é medida por espectrofotômetro ou colorímetro, indicando a quantidade de SO_2 na atmosfera.

Entre as vantagens do uso deste método estão sua simplicidade e o fato de ser específico para avaliar concentrações de SO_2 . Entre as maiores dificuldades no seu uso estão a necessidade de um laboratório analítico bem equipado, de técnicos bem treinados e o manuseio de substâncias tóxicas.

a4 Método da torina (ISO 4221)

Assim como no método acidimétrico, o SO_2 é convertido para ácido por uma solução de peróxido de hidrogênio. Perclorato de sódio é adicionado formando sulfato de bário precipitado. A concentração de íons de bário na solução é medida espectrofotometricamente através da reação com a torina adicionada. Embora este método não seja muito difundido, é utilizado tanto para monitoramento de SO_2 na atmosfera quanto de sulfatos na precipitação.

a5 Método do filtro impregnado

Neste método, o SO_2 é absorvido por um filtro impregnado com hidróxido de potássio, sendo posteriormente convertido em sulfato. A solução passa então por uma troca catiônica para remoção do potássio, sendo então analisada pelo método da torina. Uma vez que este método não utiliza borbulhadores nem soluções absorventes, permite que os filtros sejam enviados por correio postal, para posterior análise em laboratório.

b. Amostradores ativos – métodos de medição para dióxido de nitrogênio

Os amostradores ativos utilizados para monitoramento de NO_2 na atmosfera incluem métodos nos quais as amostras são coletadas em soluções alcalinas, utilizando contas ou discos de vidro sinterizados impregnados com soluções químicas. As concentrações são determinadas por reação colorimétrica. Há nestes métodos inúmeras incertezas em termos de calibração, eficiência de coleta e reações laterais, o que torna o seu uso não recomendado como único em programas de monitoramento. São apresentados a seguir os três principais métodos e seus princípios de funcionamento.

b1 Método de Griess-Saltzman (ISO 6768)

O NO_2 reage com ácido sulfanílico e N-(1-naftil)etilenodiamina diidroclorido (NEDA) produzindo substância azocorante. A intensidade da solução reagente é medida colorimetricamente ou espectrofotometricamente. Este método é bastante simples e sensível para baixas concentrações de NO_2 ($<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para períodos de amostragem de uma a duas horas. A análise necessita ser feita imediatamente após a amostragem.

b2 Método TGS-ANSA

A amostra de ar passa por um borbulhador contendo trietanolamina, glicol e metabisulfito de sódio. A concentração de íons de nitrito produzidos durante a amostragem é então determinada espectrofotometricamente. Neste método, diferentemente do método de Saltzman, a análise não necessita ser feita imediatamente após a amostragem.

b3 Método da membrana sorvente sólida

O NO_2 é coletado como nitrito em conta de vidro revestida com iodeto de potássio e arsenito de sódio. As concentrações são determinadas fotometricamente usando a reação com NEDA e ácido sulfanílico, formando um azocorante vermelho. Mais recentemente, uma variação desse método foi proposta utilizando substâncias menos tóxicas que o arsenito.

c. Amostradores ativos – métodos de medição para monóxido de carbono

Não há métodos ativos de uso corrente para monitoramento de CO na atmosfera. Todavia, devido à inércia do CO, a amostragem utilizando bombas e sacos pode ser feita para posterior quantificação em analisador de CO.

d. Amostradores ativos – métodos de medição para ozônio

O método mais utilizado para monitoramento de ozônio é o NBKI (*neutral buffered potassium iodide*). Neste método, o O_3 reage com o iodeto de potássio liberando iodina, que é determinada espectrofotometricamente. Apesar de simples e barato, a influência de fatores de incerteza no método, como a deterioração da iodina e a interferência de outros poluentes como o SO_2 e o NO_2 , tornou o método de pouco uso.

e. Amostradores ativos – métodos de medição para material particulado

Como foi visto no Capítulo 1, o termo “material particulado” é uma generalização para todo tipo de partículas em suspensão presentes na atmosfera, que podem ser classificadas em diversas faixas de tamanho, morfologia e composição química. Estas características justificam a grande diferença que existe entre o monitoramento de material particulado e dos gases.

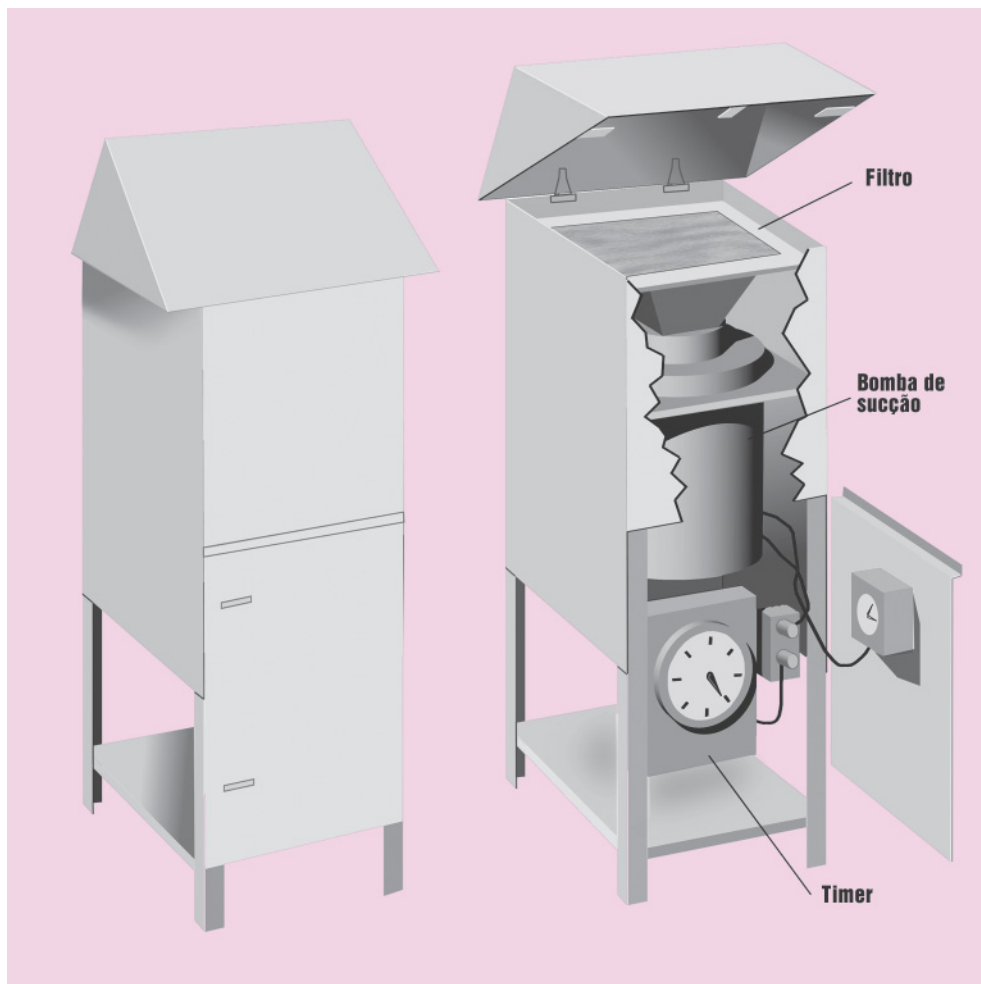
Os tipos de material particulado mais comumente monitorados são as partículas totais em suspensão (PTS), as partículas com diâmetro menor que $10\ \mu m$, também chamadas de inaláveis (MP10), e as partículas finas (MP25), esta última recebendo maior atenção nos últimos anos devido ao seu maior efeito sobre a saúde humana.

Em geral, os métodos de monitoramento de material particulado são menos precisos e podem ser considerados como processos divididos em duas etapas: a primeira refere-se ao sistema de amostragem propriamente dito, envolvendo o sistema de entrada da amostra de ar (captadores) e os filtros coletores do material particulado; a segunda diz respeito aos sistemas de análise das amostras coletadas, determinando as concentrações presentes na atmosfera.

Podem ser considerados amostradores ativos de material particulado os amostradores de grande volume (*high-vol*), médio volume (*medium-vol*) e pequeno volume (*low-vol*), os quais variam basicamente em termos do volume de ar amostrado, e não em tamanho da partícula amostrada. Por outro lado, variações nas características geométricas dos captadores, como os funis amostradores, permitem diferenciações no tamanho da partícula. Em ambos os amostradores, o material é coletado utilizando filtros.

O mais difundido dos amostradores ativos de material particulado é o amostrador de grande volume (Figura 16), que por sua utilização na medição de PTS apresenta

longas séries históricas de dados. Neste amostrador o ar passa através de um filtro de fibra de vidro em um fluxo de cerca de 2.000 m³/dia. Os filtros são então pesados por meio de microbalanças (método gravimétrico), determinando o ganho de massa devido ao material particulado em 24 horas de amostragem. O amostrador de grande volume é aplicável para medir concentrações integradas em períodos de 24 horas, com limites de detecção a partir de 1 a 5 µg/m³, e diâmetro até cerca de 100 µm, dependendo das condições de vento.



Fonte: US-EPA APTI, s.d.

FIGURA 16 – AMOSTRADOR ATIVO DE GRANDE VOLUME

Nos amostradores de médio e pequeno volumes, o método gravimétrico de análise é menos preciso devido ao menor volume de ar da amostra, não sendo recomendados para medir PTS, exceto em locais onde há pouca concentração de material particulado mais grosso. Mais recentemente têm sido desenvolvidas “cabeças” amostradoras especiais para amostragem de material particulado de diâmetros menores, como o MP10, tanto para amostradores de médio como de grande volume.

É importante salientar ainda, que o método gravimétrico (manual) de análise exige grande tempo de trabalho em laboratório, o que torna o uso de amostradores ativos impróprio para casos em que diariamente são necessários dados, sendo então preferível o uso de equipamentos automáticos.

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 eletroópticos. 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 detector de luz produz um sinal elétrico que é proporcional à concentração do poluente que está sendo medida.

Dependendo do poluente a medir, o analisador utiliza diferentes princípios eletroópticos, tal como pode ser observado na Tabela 32.

TABELA 32 – PRINCÍPIOS ELETROÓPTICOS PARA MEDIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM ANALISADORES AUTOMÁTICOS	
Princípio eletroóptico	Poluente
Fluorescência	SO ₂
Quimiluminescência	NO _x , NO e NO ₂
Absorção de infravermelho não dispersivo	CO
Cromatografia gasosa/ionização de chama	hidrocarbonetos (HC)
Absorção de ultravioleta	O ₃
Absorção β e microbalanço oscilante	partículas em suspensão

Fonte: WHO, 1991.

As medidas obtidas por meio dos analisadores automáticos possuem alto grau de precisão, mas exigem um trabalho rigoroso de operação, manutenção e controle de qualidade dos dados gerados. Analisadores automáticos funcionando continuamente produzem, além disso, uma quantidade muito grande de dados, necessitando de sistemas de telemetria para recebê-los e computadores exclusivamente dedicados para posterior processamento e análise.

**a. Analisadores automáticos –
métodos de medição para dióxido de enxofre (ISO 10498)**

Há vários métodos automáticos para monitoramento de SO₂ na atmosfera, sendo a fluorescência de pulso ultravioleta (UV) a técnica mais utilizada. Por esse método as moléculas de SO₂ são excitadas pela radiação UV, que diminui sua energia e causa uma emissão de radiação fluorescente secundária com intensidade proporcional à concentração de SO₂ na amostra de ar. A precisão do método depende de vários fatores, como o estabelecimento de padrões de calibração e estabilidade do analisador. Mesmo considerando estes fatores, a precisão estimada é de cerca de ±10%.

**b. Amostradores ativos –
métodos de medição para óxidos de nitrogênio (NO e NO₂)**

O método de referência internacional para monitoramento automático de NO_x (NO + NO₂) é a quimiluminescência (ISO 7996). O método é baseado na energia quimiluminescente emitida na reação do NO com o O₃ em uma câmara de vácuo, gerando moléculas de NO₂:



A energia luminosa gerada é convertida em sinal elétrico, que é então quantificado como concentração do poluente. A precisão dos analisadores de NO_x, assim como no caso do SO₂, depende de diversos fatores, mas é estimada em torno de ±8%.

**c. Amostradores ativos –
métodos de medição para monóxido de carbono (ISO 4224 e ISO 8186)**

Embora existam vários analisadores automáticos para monitoramento de CO na atmosfera, o princípio mais utilizado é baseado na absorção de radiação infravermelha

em comprimentos de onda na faixa de 4,5 a 4,9 μm . O método diferencia a absorção da radiação pelo CO e por outros gases (o método mais utilizado atualmente para obter essa diferenciação é o GFC – *gas filter correlation*, que correlaciona uma célula de nitrogênio puro e uma de nitrogênio e CO). A diferença entre os dois sinais de absorção dividida pela intensidade da fonte de radiação fornece a concentração de CO na amostra de ar. Este método fornece uma medida de concentração com precisão em torno de $\pm 8\%$.

d. Amostradores ativos – métodos de medição para ozônio

O método para monitoramento automático de ozônio mais utilizado é baseado em absorção da radiação ultravioleta, onde a concentração de O_3 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 $\pm 11\%$.

e. Amostradores ativos – métodos de medição para material particulado

As técnicas utilizadas em equipamentos automáticos para medir a concentração de material particulado em suspensão na atmosfera são:

- absorção de radiação β ;
- gravimetria, utilizando TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance);
- espalhamento de luz/nefelometria.

Os dois primeiros métodos são os mais utilizados em programas e redes permanentes de monitoramento da qualidade do ar. Os resultados observados durante anos de utilização demonstram que os equipamentos possuem satisfatório grau de precisão, embora a experiência indique também que nem sempre as medidas de diferentes métodos são comparáveis e sua padronização em termos de equipamento é, portanto, recomendável.

No método de absorção de radiação β , a atenuação da radiação em um filtro funciona como uma medida da concentração de massa de MP. Devido às suas facilidades em termos de operação, como a baixa frequência de troca dos filtros (que duram alguns meses), o método de absorção de radiação β é amplamente utilizado para monitoramento em tempo real.

No método TEOM, a amostra de ar passa através de um filtro agregado a um tubo oscilante. Conforme a massa de partículas coletadas no filtro aumenta, a frequência de oscilação do tubo diminui, sendo as concentrações de MP obtidas pela relação direta entre frequência e massa.

www.rpco.com/products/ambprod/amb1400/
TEOM Series 1400° Ambient Particulate Monitor • Inglês

Uma consideração importante no caso dos analisadores de MP é que os sistemas de amostragem afetam diretamente as técnicas de medida. Assim, os processos de captação de ar e controle de fluxo da amostra devem ser adequados e bem testados, principalmente para determinação de frações do MP, como o MP10.

Além das características físicas, como o diâmetro das partículas, ambos os métodos para determinação das concentrações de MP são muito pouco dependentes de sua composição química, e a determinação dos elementos químicos presentes no MP deve ser feita por métodos analíticos.

SENSORES REMOTOS

Desenvolvidos mais recentemente, este tipo de monitor fornece informações de concentração de poluentes em pontos do espaço mais distantes do equipamento, por meio de técnicas de espectroscopia. Os dados são obtidos pela integração, ao longo de um caminho óptico, de uma fonte de luz e de receptor (normalmente a uma distância maior do que 100 metros). O equipamento pode trabalhar na faixa ultravioleta do espectro, como o equipamento DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy), ou próximo ao infravermelho, como o FTIR. Há ainda equipamentos mais sofisticados baseados em laser (LIDAR), que são usados principalmente em experimentos, ou seja, durante períodos mais curtos com objetivos específicos de monitoramento. Esse tipo de equipamento pode ser particularmente útil para avaliação das concentrações de poluentes nas proximidades de fontes emissoras e para obtenção de medidas de concentração vertical na atmosfera.

snake.irf.se/optlab/hut2/
Differential Optical Absorption Spectrometer • Inglês

www.epa.gov/ttn/emc/ftir.html
EMC – FTIR Technology • Inglês

www.ihr.uiowa.edu/projects/new_jersey/
Lidar Applications in Air Pollution Monitoring • Inglês

www2.etl.noaa.gov/DIAL_lidar
Light Detection and Ranging • Inglês

BIOINDICADORES

Há um interesse crescente na avaliação da qualidade do ar utilizando o chamado biomonitoramento, que é realizado por meio da análise do impacto da poluição nas plantas. Tal avaliação pode ser feita baseada em vários métodos e níveis de sofisticação distintos. Os métodos incluem:

- Usar a superfície da planta como um receptor dos poluentes atmosféricos, ou seja, funciona como um amostrador que deve ser coletado posteriormente e analisado em laboratório por meio de métodos clássicos de análise.
- Utilizar a capacidade da planta em acumular ou metabolizar poluentes em seu tecido. O tecido da planta é então analisado em laboratório através de métodos clássicos.
- Avaliar os efeitos dos poluentes no metabolismo ou informação genética da planta. Os processos de coleta e análise, nesse caso, requerem técnicas altamente sofisticadas.
- Avaliar o efeito dos poluentes na aparência visual da planta.
- Analisar a distribuição geográfica de determinadas plantas como indicador da qualidade do ar. É realizado pela observação de especialistas no próprio campo.

O uso de bioindicadores pode ser útil, por exemplo, para monitoramento, a um baixo custo, em áreas onde não há dados disponíveis. As limitações ao uso de bioindicadores são diversas, e vão desde a dificuldade de comparação de informações em regiões sob condições climáticas distintas até a dificuldade de mensurar os efeitos de fatores de *stress* biótico, como seca, calor, etc.

Os *sites* indicados a seguir apresentam exemplos de utilização de sistemas de biomonitoramento.

www.na.fs.fed.us/spfo/fhm/ozonetrng/pages/injurypics.htm

Ozone Bioindicator Injury Samples • Inglês

www.na.fs.fed.us/spfo/fhm/ozonetrng/pages/Biospecies.htm

Ozone Bioindicator Species List • Inglês

2.3 MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES

OBJETIVOS

Os modelos de qualidade do ar, ou modelos de dispersão, são ferramentas matemáticas que, com base em dados como emissão, meteorologia, topografia, etc., estimam as concentrações dos poluentes na atmosfera, ou seja, avaliam o impacto de fontes ou grupo de fontes na qualidade do ar para uma dada região.

www.epa.gov/oar/oaqps/modeling.html

Air Quality Planning & Standards • Inglês

Os modelos de qualidade do ar são ferramentas extremamente úteis para:

- planejamento do local de instalação e avaliação do impacto de futuras fontes;
- avaliação da eficácia de técnicas e estratégias de controle de fontes emissoras;
- previsão e controle de episódios de poluição;
- estabelecimento de legislação de limites de emissão;
- identificação dos responsáveis pelas concentrações observadas;
- planejamento de redes de amostragem da qualidade do ar.

No Brasil, é comum em alguns Estados a exigência do uso de modelos de qualidade do ar nos Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) para aprovação de grandes empreendimentos poluidores, como é o caso das termelétricas recentemente proposto. Essa exigência visa garantir que os padrões legais de qualidade do ar não sejam ultrapassados e que a saúde da população não seja afetada.

www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/geral/politica_meio/dec_fed9927490.htm

Decreto Federal nº 99.274, 6 de junho de 1990 • Português

Os modelos de qualidade do ar podem servir ainda como informação complementar às medições convencionais realizadas por meio de equipamentos, uma vez que o monitoramento das concentrações dos poluentes numa dada região nem sempre é suficiente para garantir a necessária avaliação da qualidade do ar devido às suas limitações temporais, espaciais e de custo.

TIPOS DE MODELOS

Há várias classificações para os modelos de qualidade do ar. Uma delas, baseada no algoritmo de cálculo para avaliação da dispersão atmosférica, divide os modelos em quatro categorias:

- Gaussianos
- Numéricos
- Estatísticos
- Físicos

É importante apontar que existe uma quantidade enorme de modelos desenvolvidos; assim, modelos distintos podem ter sua base em um mesmo algoritmo genérico de cálculo. Como exemplo, os modelos ISC e RAM, desenvolvidos pela US-EPA, são baseados no conceito de pluma gaussiana, ou aproximação gaussiana, que será estudado posteriormente. Em muitos casos, a diferença entre os modelos é o grau de detalhes considerados nos dados de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) dos modelos.

Os **modelos gaussianos** são os mais utilizados para estimativas de impacto de fontes de poluentes primários (emitidos diretamente na atmosfera).

Os **modelos numéricos** são normalmente mais apropriados que os modelos gaussianos para áreas urbanas que envolvem reações químicas na atmosfera. Porém, esses modelos exigem um número maior de informações de entrada, sem as quais não podem ser aplicados de forma satisfatória.

Os **modelos estatísticos** são normalmente empregados em situações em que não há um completo entendimento dos processos físicos e químicos envolvidos, ou quando a escassez de dados de entrada inviabiliza a utilização de modelos numéricos ou gaussianos.

Por fim, os **modelos físicos** envolvem o uso de réplicas reduzidas de áreas urbanas ou de túneis de vento. Os problemas associados à dificuldade de simular as reais condições da escala atmosférica tornam seu uso restrito. Normalmente são utilizados para estudar isolada e detalhadamente determinados processos, como o efeito de edificações (*downwash*), o efeito sobre a pluma em terrenos acidentados, etc.

Embora ainda seja objeto de poucos estudos, mais recentemente tem-se investigado também o uso de modelos baseados em redes neurais. Seu funcionamento é semelhante aos dos modelos puramente estatísticos, uma vez que não são considerados os aspectos fenomenológicos.

Os modelos atualmente mais utilizados para avaliação do impacto de fontes são os modelos gaussianos e os modelos numéricos, aos quais será dado maior enfoque neste documento.

ASPECTOS TEÓRICOS DOS MODELOS

Embora exista um grande número de modelos de qualidade do ar, os processos matemáticos e físicos de solução utilizados para estimativa das concentrações dos poluentes na atmosfera não diferem muito, e variam conforme definições já citadas nos tipos de modelos existentes.

Além de serem os modelos mais utilizados, os modelos gaussianos e numéricos são os que apresentam estimativas mais satisfatórias em termos de simulação da qualidade do ar para uma dada região. Esses modelos descrevem matematicamente as distribuições espacial e temporal dos poluentes emitidos na atmosfera, ou seja, as condições de dispersão atmosférica.

É importante definir dispersão atmosférica como o processo físico de movimentação dos poluentes em um fluido turbulento, como é o caso do ar na Camada Limite Planetária (CLP). Determinados autores denominam dispersão atmosférica como difusão atmosférica ou, ainda, difusão turbulenta. Neste documento optou-se por utilizar o termo dispersão atmosférica para que não haja confusão com o fenômeno de difusão molecular, processo físico de escala muito menor que ocorre em moléculas de substâncias.

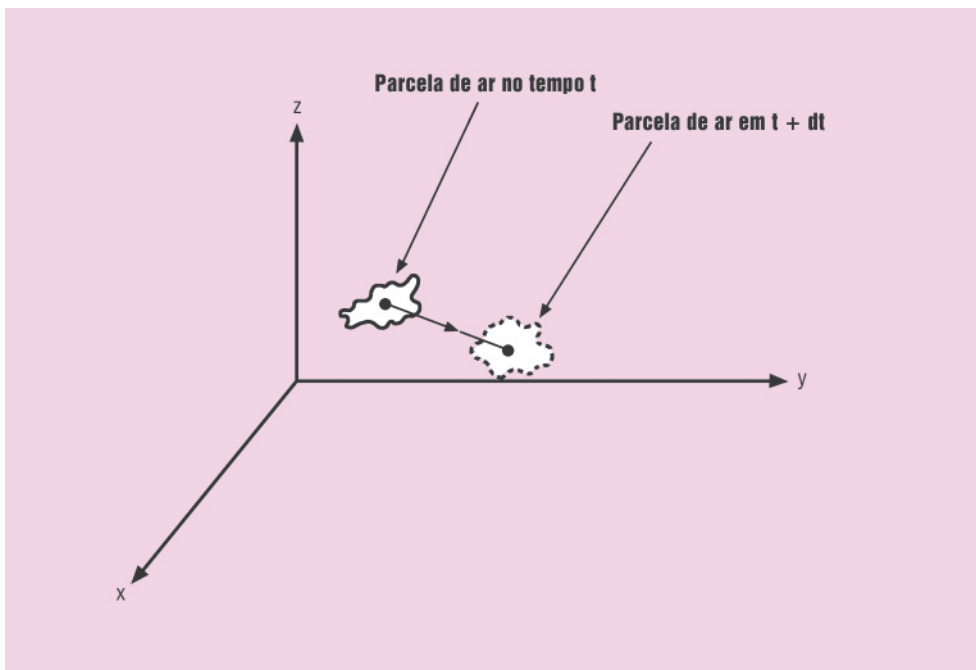
Interessam em especial três teorias que são usadas na maioria dos modelos de dispersão atmosférica. São elas:

Teorias sobre modelos de dispersão atmosférica

a. Aproximações euleriana e lagrangiana

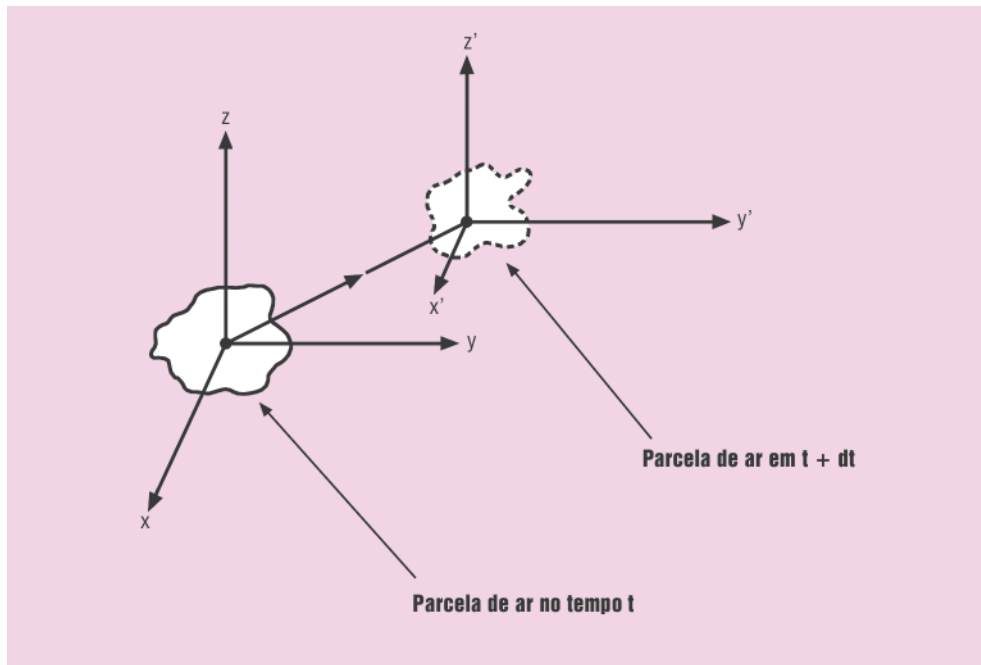
A dispersão dos poluentes pode ser numericamente simulada em modelos que utilizam diversas técnicas, divididas em duas categorias: modelos eulerianos e modelos lagrangianos.

Os modelos eulerianos e lagrangianos trazem importantes conceitos aplicáveis na dinâmica dos fluidos em geral, e cada um desses modelos tem vantagens e desvantagens no tratamento dos fenômenos atmosféricos. Matematicamente, a diferença básica entre as aproximações, ou análises euleriana e lagrangiana, é a apresentada no Gráfico 19. Na análise euleriana, o sistema de referência é fixo em relação à Terra, enquanto na análise lagrangiana o sistema segue o movimento médio do fluido, no caso, a atmosfera.



Fonte: Adaptado de Zanetti, 1990.

**GRÁFICO 19 – SISTEMAS DE REFERÊNCIA PARA O MOVIMENTO ATMOSFÉRICO.
(A) MÉTODO EULERIANO**



Fonte: Adaptado de Zanetti, 1990.

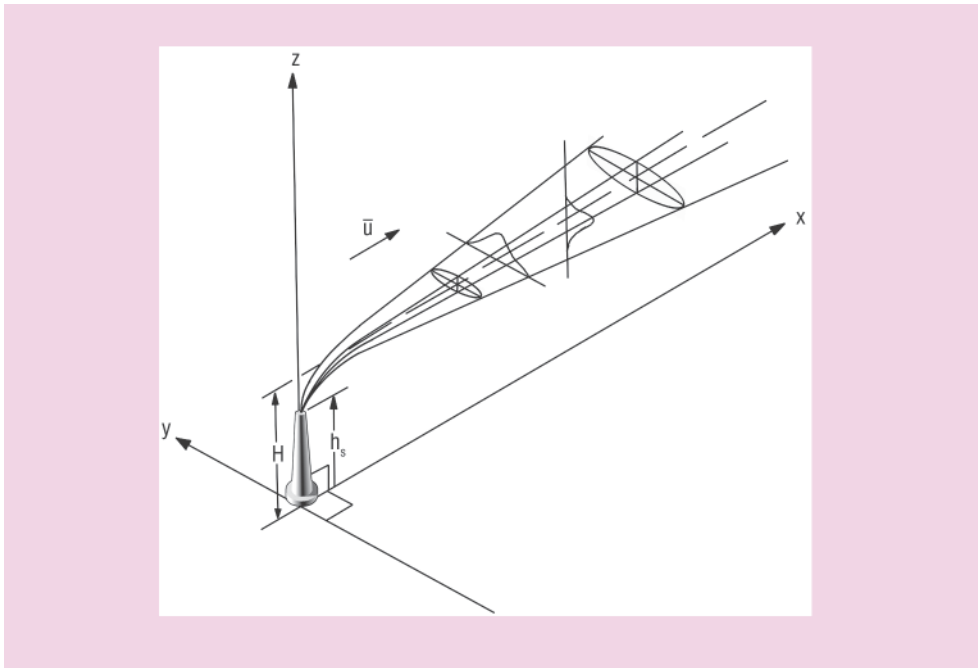
**GRÁFICO 19 – SISTEMAS DE REFERÊNCIA PARA O MOVIMENTO ATMOSFÉRICO.
(B) MÉTODO LAGRANGIANO**

O método euleriano descreve as concentrações em termos da velocidade do fluido, ou seja, a velocidade medida em pontos fixos da atmosfera. Uma análise desse tipo é muito útil, não somente porque os valores são facilmente medidos, por meio de um anemômetro (instrumento que mede direção e velocidade do vento) em determinados pontos, mas também porque as expressões matemáticas podem ser aplicadas em situações em que há ocorrência de reações químicas. Todavia, a análise euleriana encontra, algumas vezes, obstáculos matemáticos na solução da equação que descreve a dispersão.

Por outro lado, a análise lagrangiana descreve as concentrações em termos das propriedades dos deslocamentos de grupos de partículas liberadas na atmosfera. Do ponto de vista matemático, este método permite tratamento matemático mais simplificado, mas a sua aplicabilidade é limitada, devido às dificuldades relativas à precisão nas informações das partículas. Além disso, as equações não são diretamente aplicáveis a problemas que envolvem reações químicas não-lineares.

b. Aproximação gaussiana

Os modelos baseados na análise de pluma gaussiana são os de uso mais freqüente nos estudos de impacto de fontes de poluição do ar. Tais modelos são baseados no fato de que, sob condições meteorológicas de vento e turbulência e de emissões homogêneas e estacionárias (que não variam no tempo), as concentrações médias de uma pluma a partir de um ponto fixo (fonte pontual) seguem uma distribuição gaussiana. O Gráfico 20 mostra uma representação do modelo de pluma gaussiana, em que a pluma segue a direção do eixo x , \bar{u} é o vetor velocidade do vento, h_s é a altura da chaminé e H a altura efetiva da emissão.



Fonte: Dobbins, 1979.

GRÁFICO 20 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UMA PLUMA GAUSSIANA

A equação que descreve a aproximação gaussiana, que na verdade pode ser vista como uma solução particular da equação lagrangiana, tem recebido diversas modificações com o objetivo de simular condições de dispersão com características especiais. Assim, há modelos gaussianos que simulam concentrações:

- de fontes linha, área e volume;
- sob efeito de edificações (*downwash*);
- em que a pluma é desviada de seu eixo horizontal;
- que sofrem influência das variações oceano-terra, em regiões litorâneas;
- em modelos climatológicos;
- em situações de meteorologia e emissão não constantes, por meio da técnica de segmentação da pluma.

Estas modificações resultaram em um número muito grande de modelos gaussianos que simulam situações bastante distintas, conforme exemplos de modelos de qualidade do ar que serão apresentados mais adiante.

NÍVEL DE SOFISTICAÇÃO DOS MODELOS

Além dos vários tipos, ou classes, de modelos já citados, a US-EPA sugere a utilização de modelos de dois níveis de sofisticação, como forma de otimizar o uso dos modelos e mais rapidamente atingir os objetivos da modelagem.

Os modelos do primeiro nível são modelos simplificados (*screening models*) que utilizam técnicas relativamente simples baseadas em estimativas. O principal objetivo de utilização de modelos desse nível é eliminar a necessidade do uso de modelos mais detalhados para fontes que, certamente, não irão causar grande impacto nas concentrações dos poluentes na atmosfera, em especial a ultrapassagem dos padrões legais de qualidade do ar. Obviamente, seus resultados, em termos de qualidade do ar para fontes específicas ou categoria de fontes, são superestimados, ou seja, dado o baixo grau de precisão dos resultados, trazem consigo uma boa margem de segurança para que sejam confiáveis.

Caso o uso dos modelos simplificados indique que há deterioração significativa da qualidade do ar devido à instalação de uma determinada fonte poluidora, modelos mais sofisticados, como os numéricos ou gaussianos, devem ser empregados para avaliação mais precisa do impacto desta nova fonte. Há casos, porém, em que o uso dos modelos simplificados é a única ferramenta possível de ser utilizada em razão da escassez de dados de entrada requeridos para utilização de modelos mais sofisticados.

O segundo nível de modelos consiste justamente naqueles mais sofisticados, que utilizam técnicas analíticas de tratamento dos processos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera. Necessitam de base de dados de entrada mais detalhada e precisa, e pelo menos teoricamente apresentam resultados mais precisos em termos do impacto de fontes na qualidade do ar. Conseqüentemente são mais confiáveis para servir como base na elaboração de estratégias de controle das fontes poluidoras. A US-EPA organizou esses modelos mais refinados em oito categorias, conforme sua utilização: rural, urbano industrial, poluentes secundários, fontes móveis, topografia complexa, visibilidade, transporte regional e climatológicos.

www.lakes-environmental.com/lakeepa.html

US-EPA Models • Inglês

Em relação a este *site*, é importante frisar que a Lakes Environmental, assim como outras, é uma empresa que comercializa modelos em formato mais amigável que os originais, mas a fonte de desenvolvimento científico dos modelos normalmente é a própria EPA ou outras instituições de pesquisa.

RESOLUÇÕES TEMPORAL E ESPACIAL DOS MODELOS

O período de tempo em que as concentrações de poluentes são calculadas pelos modelos de qualidade do ar é definido como resolução temporal do modelo, e pode variar desde minutos até um ano. Como exemplo deste último, são comuns as simulações para cálculo das concentrações médias anuais de um determinado poluente.

Modelos baseados em análises estatísticas requerem dados de monitoramento de vários anos, e sua implementação exige basicamente as informações de estimativas de emissão, uma vez que os aspectos meteorológicos, reações na atmosfera e os processos de remoção dos poluentes já estão implícitos no arquivo de dados históricos.

Os modelos numéricos, baseados nas equações que descrevem a dispersão na atmosfera e as reações químicas, podem ter resolução temporal desde alguns minutos até um ano. Esses modelos são chamados também de modelos dinâmicos, uma vez que os resultados de suas simulações refletem a qualidade do ar com base nas condições químicas e meteorológicas na atmosfera em tempo real. Os modelos dinâmicos requerem como dados de entrada a distribuição temporal e espacial das emissões, das variáveis meteorológicas e as variações resultantes das transformações físico-químicas e dos processos de remoção dos poluentes na atmosfera da região de interesse.

Em termos de escala espacial, os modelos podem variar desde poucos metros até centenas de quilômetros. A definição do domínio (área total objeto da simulação) e da resolução espacial dos modelos (distância entre os pontos que compõem a grade dos dados de saída do modelo, ou seja, dos resultados da simulação) dependem do objetivo da modelagem, do poluente, da área de abrangência das fontes poluidoras, das condições topográficas e meteorológicas, entre outros fatores.

Como exemplo, uma escala espacial típica para modelagem em uma área urbana é de um domínio de 100 km x 100 km x 5 km de latitude-longitude-altitude, e uma resolução de 2 km, ou seja, teremos como resultado dessa simulação uma concentração que varia em pontos de grade de 2 km de distância entre eles.

EXEMPLOS DE MODELOS

Como foi dito anteriormente, embora exista um número muito grande de modelos de qualidade do ar desenvolvidos e utilizados em todo o mundo, as bases teóricas para cálculo das concentrações são muito semelhantes, conforme o tipo de modelo. Desse modo, apresenta-se a seguir alguns modelos de qualidade do ar desenvolvidos pela EPA, que os tem sistematizado e fornecido para utilização em diversos países. Tais modelos são utilizados não somente de forma ampla, como também reconhecidos por sua adequação, dependendo obviamente do tipo de poluição que se quer avaliar.

Embora tais modelos sejam válidos para aplicação em qualquer país, todos eles devem ser devidamente validados para as condições locais da região onde se pretende aplicá-los. Em muitos casos, há a necessidade de modificação de alguns parâmetros internos dos modelos, sobretudo quando as regiões têm características climatológicas muito distintas. Ainda assim, por serem conhecidos internacionalmente, os modelos da US-EPA têm servido de base para muitos outros modelos desenvolvidos em outros países, inclusive no Brasil.

ISC3 (Industrial Source Complex Model)

Modelo gaussiano normalmente utilizado para estimar concentrações de poluentes primários devido a uma grande variedade de fontes associadas à indústria com características complexas. Possui uma versão para estimativas de curto prazo (ISCST3) e outra para estimar concentrações médias para períodos mais longos (ISCLT3). Pode ser utilizado tanto em áreas urbanas quanto rurais.

RAM

Modelo gaussiano normalmente utilizado para estimar concentrações em curtos períodos de tempo (1 hora a 1 dia) de poluentes relativamente estáveis na atmosfera (não reativos) em áreas rurais ou urbanas.

CDM (Climatological Dispersion Model)

Modelo climatológico gaussiano para estimativas de médias de concentração de poluentes para períodos longos (anual ou sazonal) em áreas urbanas.

CALINE3

Modelo gaussiano para estimativa de concentração de poluentes primários provenientes de vias de tráfego de veículos, sejam elas em áreas urbanas ou rurais.

UAM (Urban Airshed Model)

Modelo numérico tridimensional, de escala urbana, que incorpora a cinética de algumas reações fotoquímicas de áreas urbanas. O UAM foi desenvolvido para cálculo de concentrações de ozônio em episódios de curto prazo a partir das emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVs) e monóxido de carbono (CO).

No Brasil, o uso de modelos de qualidade do ar ainda é bastante restrito, tanto pelas indústrias quanto pelos órgãos de planejamento, fiscalização e controle. Os organismos governamentais de meio ambiente normalmente não recomendam o uso de modelos de qualidade do ar específicos, embora no caso de grandes fontes poluidoras seja exigido Estudo de Impacto Ambiental (EIA) que inclua o uso desses modelos aplicáveis à situação.

2.4 ESTUDO DOS ODORES

Os odores com origem em emissões industriais e/ou automotivas, perceptíveis aos seres humanos, foram motivo de constante preocupação desde o princípio dessas atividades causadoras de poluição do ar, principalmente pelo incômodo gerado. Todavia, o início de uma sistematização efetiva das informações sobre os efeitos do odor na saúde, das principais fontes e substâncias, bem como das estratégias de controle do odor, data do final da década de 1970.

Nos Estados Unidos, a Emenda do Ato do Ar Limpo (Clean Air Act Amendments), em 1977, contemplou um estudo sobre os efeitos dos odores sobre a saúde e o bem-estar das pessoas, as fontes emissoras de cada substância causadora de odor, a tecnologia disponível e os custos e benefícios envolvidos na avaliação e controle dos odores.

Infelizmente, ainda hoje o estudo dos odores necessita de muitos avanços. Enquanto há eficientes métodos para medição e redução das substâncias causadoras de odor, os seus efeitos sobre a saúde, por exemplo, ainda são muito imprecisos. Além disso, os mecanismos físicos e químicos responsáveis pela sensação de odor ainda não são bem conhecidos, o que torna bastante difícil o estabelecimento de uma unidade de medida do odor, como utilizamos os decibéis para medir ruídos.

PERCEPÇÃO DO ODOR

A maior parte das emissões de substâncias que geram odor lançadas na atmosfera, sejam elas antropogênicas ou naturais, é composta de misturas complexas de diferentes componentes individuais. A percepção humana relacionada ao odor varia muito com as variações de cada componente individualmente, bem como em alguns casos varia de indivíduo para indivíduo.

Muitos dos contaminantes atmosféricos não possuem odor ou são de muito difícil detecção, como é o caso do CO; enquanto outros são facilmente percebidos mesmo em concentrações muito baixas. Outro fator importante em termos de percepção do odor é que, apesar da percepção se reduzir conforme se reduz a concentração das substâncias causadoras do odor, esta relação não é traduzida por uma proporcionalidade direta e é dependente dos componentes presentes. Em outras palavras, pode-se reduzir, por exemplo, em 50% a concentração de uma determinada substância e isso refletir bem menos que 50% em termos da percepção do odor.

EFEITOS NA SAÚDE

Antigamente, a humanidade achava que odores bons ajudavam a preservar a saúde e odores ruins, de mau cheiro, eram nocivos à saúde. Deste conceito surgiu, por exemplo, a palavra *malária*, que tem sua origem na expressão italiana *mala aria*, que significa “mau ar”. Atualmente, muitos avanços foram obtidos sobre os efeitos do odor na saúde das pessoas, embora ainda seja um campo que ainda necessite de muita investigação.

Os efeitos dos odores na saúde das pessoas são muito difíceis de serem quantificados, mas já foram relatados e documentados sintomas como náuseas, vômitos e dores de cabeça; falta de fôlego e tosse; distúrbios no sono e no apetite; irritação dos olhos, nariz e garganta; inquietação, tristeza e depressão; redução da sensação de bem-estar e do prazer na realização de atividades cotidianas como comer, passear, etc. Há evidências mostradas em estudos sob condições controladas que determinados odores podem induzir a alterações fisiológicas e morfológicas, principalmente nos sistemas respiratório e cardiovascular.

Apesar de todos esses sintomas e alterações na saúde, há ainda uma grande dificuldade no estabelecimento de uma relação entre a intensidade e o tempo de exposição ao odor com a magnitude dos efeitos citados. Sabe-se ainda que, assim como no caso da poluição por gases tóxicos, alguns grupos de pessoas são particularmente mais suscetíveis ao efeito do odor, como asmáticos, alérgicos e pessoas com doenças cardiovasculares ou respiratórias preexistentes.

TRANSPORTE DO ODOR NA ATMOSFERA

O odor na atmosfera chega até as pessoas por meio de dispersão atmosférica. Pode-se considerar então que, do ponto de vista dos fenômenos físicos, o odor pode ser tratado – no caso de seu transporte – de forma semelhante aos poluentes gasosos, ou seja, o odor medido depende basicamente dos processos que ocorrem entre a fonte emissora e o receptor, que no caso dos odores são os seres humanos. Obviamente, também no caso dos odores existem, além dos processos meteorológicos, os processos químicos relacionados com as substâncias causadoras de odor, ou seja, as reações que ocorrem entre elas na atmosfera.

No caso de substâncias causadoras de odor pouco reativas na atmosfera, o odor sentido é basicamente o resultado das concentrações da substância emitida na fonte em combinação com o efeito do transporte atmosférico, que determina as concentrações medidas no receptor. Nesse caso, o estudo de transporte do odor pode ser realizado de forma análoga aos estudos de pluma atmosférica, permitindo o uso até mesmo de modelos matemáticos semelhantes aos apresentados como ferramenta de estimativa das concentrações.

Foram particularmente identificados como úteis os modelos do tipo puff (*puff models*), que simulam o transporte a partir de emissões instantâneas em fontes pontuais não muito distantes do receptor, calculando as concentrações das substâncias causadoras de odor com base na teoria gaussiana. Obviamente, no caso do estudo dos odores, a relação entre a concentração das substâncias e sua percepção em termos de odor também deve ser avaliada.

MÉTODOS DE MEDIDA

Substâncias causadoras de odor são substâncias químicas, e podem ser analisadas por métodos químicos. Odores são sensações, e só podem ser analisadas com base nas respostas dos indivíduos expostos a eles.

O odor gerado por determinadas substâncias químicas bem conhecidas, como o H_2S , pode ser medido tanto por métodos químicos (analíticos) quanto por métodos organolépticos (sensoriais). Embora os métodos analíticos sejam úteis na identificação e quantificação das substâncias que causam odor, os métodos sensoriais são o único caminho para obtenção do grau de tolerância do odor proveniente das substâncias químicas presentes na atmosfera. Isso ocorre em virtude de diversos fatores, como: a relação não-linear entre as concentrações das substâncias que causam odor e a percepção humana; a variabilidade entre a percepção de diferentes indivíduos para uma dada substância; etc.

a. Métodos sensoriais

Os métodos sensoriais são aqueles que consideram a percepção dos seres humanos ao odor. Há quatro características primordiais do odor que são passíveis de medida com base em técnicas sensoriais: intensidade, detectabilidade, caráter e grau de agradabilidade.

A intensidade do odor, ou magnitude do odor percebido, pode ser descrita com base em categorias, tais como intensidade fraca, moderada ou forte. Nesse caso, uma ou mais substâncias padrão em concentrações determinadas podem servir de referência para as categorias.

A detectabilidade, ou limite de detecção (*odor threshold*), não é uma propriedade específica da substância, como cor ou densidade, pois depende de como a substância causadora do odor está presente na atmosfera; por exemplo, se ela está sozinha ou em uma mistura.

O caráter, ou qualidade do odor, representa quais características permitem sua descrição ou classificação comparativamente com outras substâncias; por exemplo, se é odor doce, azedo, etc.

O grau de agradabilidade de um determinado odor refere-se à aceitabilidade do odor, ou seja, se o odor é percebido como agradável ou desagradável. Obviamente, as sensações relacionadas à agradabilidade diferem muito de indivíduo para indivíduo e podem estar influenciadas até mesmo por associações com experiências anteriores ou por contextos emocionais de quando o odor é percebido. Esta sensação pode ser medida em termos de preferência, tais como gosto muito, gosto pouco, etc.

Todos os métodos sensoriais requerem cuidados especiais com a aquisição e manutenção de uma amostra representativa da atmosfera ambiente (ou em ponto de emissão de interesse) e na seleção dos indivíduos avaliadores.

b. Métodos químicos

O odor na atmosfera é normalmente resultante de uma combinação de várias substâncias. Raramente uma só substância é responsável pelo odor presente, embora existam algumas substâncias que individualmente apresentem odor característico e são mais facilmente analisadas por métodos analíticos, como o H_2S e a amônia.

A análise química do ar que contém muitas substâncias químicas diferentes exige, a partir de uma amostra representativa, a separação e identificação dos componentes individuais. Para a separação pode-se utilizar técnicas de cromatografia, enquanto que para a identificação dos componentes o método de uso preferencial é a espectrofotometria de massa.

Além dos dois processos citados, é também necessário determinar suas contribuições para a intensidade e caráter do odor da mistura. A análise química deve ter um grau de sensibilidade (precisão) no mínimo igual à sensibilidade do olfato humano.

CONTROLE DO ODORE

O controle do odor não é uma tarefa simples, e pode ser considerado como um tipo específico de controle de emissões na atmosfera, que podem estar tanto na forma de gás quanto de vapor. O controle dos odores é realizado principalmente em emissões provenientes de atividades agrícolas, industriais e de veículos automotores.

Uma das maiores dificuldades no controle do odor é que algumas substâncias são muito facilmente perceptíveis ao sistema olfativo humano, mesmo em concentrações muito baixas. Daí decorre a necessidade de controle com mais de 95% de eficiência para a maioria das substâncias. Essa menor redução da percepção do odor em relação à redução da concentração reduz em muito a eficiência da dispersão atmosférica como método natural de controle.

A percepção do odor, mesmo em concentrações baixas, traz ainda outras dificuldades no controle da emissão dos odores. Por exemplo, emissões fugitivas, instantâneas e/ou ocasionais como as que ocorrem em vazamentos em válvulas, vedações com defeito, etc., podem se constituir em odor significativo para a população, mesmo que as fontes primárias de gases, como chaminés, estejam totalmente controladas.

Por outro lado, na maioria dos casos em que a fonte de odor é pequena, a solução é relativamente simples e pouco onerosa. Nesses casos, pequenos ajustes no processo, programas de manutenção de equipamentos e redução de vazamentos podem surtir bons resultados.

Os principais métodos utilizados para controle do odor são apresentados a seguir:

a. Alterações nos processos

Em certos casos é possível a substituição de processos por sistemas alternativos, que previnam a liberação de odor na atmosfera. Além disso, o uso de materiais de menor odor ou de odor mais aceitável, a operação de processos em temperaturas controladas, os cuidados na manutenção e limpeza dos equipamentos, entre outros, são fatores que podem ser bastante eficientes na redução do odor.

b. Diluição

A redução do odor pelo processo de diluição pode ser uma técnica relativamente barata de controle do odor, caso a substância causadora do odor não seja tóxica nem prejudicial à saúde em concentrações abaixo do limite de percepção do odor. Estes limites de percepção para a maioria dos poluentes atmosféricos podem ser obtidos na literatura que trata do assunto.

A diluição pode ser feita: pela adição de uma chaminé que lance as substâncias em altitudes mais elevadas e distantes dos receptores (população); pela separação física

entre as fontes emissoras e a população; pela utilização de sistemas de diluição que adicionam ar aos efluentes gasosos causadores do odor.

No caso do uso de chaminés ou do distanciamento de fontes emissoras, pode-se utilizar modelos matemáticos baseados nas equações da difusão atmosférica para estimar a altura da chaminé ou a distância entre a fonte e o receptor necessários para que o odor não seja percebido. Para odores muito desagradáveis, são sugeridas maiores margens de segurança a partir dos resultados das simulações.

No caso de uso dos sistemas de diluição, estes devem ser adequadamente operados no que diz respeito à manutenção e limpeza, e se possível, que sejam sistemas redundantes, uma vez que a interrupção do sistema de controle por qualquer motivo permitirá a emissão das substâncias causadoras de odor diretamente na atmosfera.

c. Absorção

O método consiste na adição de um reagente químico na substância causadora de odor, produzindo substâncias mais solúveis ou que causem menor odor. Estas reações podem ocorrer tanto na fase gasosa quanto em ambas as fases gasosa e líquida.

d. Adsorção sólida

Muitos gases podem ser desodorizados por sistemas de adsorção sólida, como, por exemplo, a passagem por carvão ativado, antes de serem lançados na atmosfera.

e. Oxidação

Este método permite a destruição irreversível das substâncias causadoras do odor, porém o seu custo é normalmente elevado devido à exigência de altas temperaturas no processo de oxidação das substâncias. É possível oxidar as substâncias causadoras do odor em outras substâncias sem odor ou com menos odor. Por exemplo, pode-se oxidar o H_2S , cujo limite de percepção é de 0,5 ppb (partes por bilhão) para SO_2 , cujo limite de percepção é de 0,5 ppm (partes por milhão).

f. Modificação do odor

Este método é bastante controverso, uma vez que não regula as emissões, mas sim mascara o odor originado por elas pela adição de uma nova substância na atmosfera, ou seja, de mais um contaminante atmosférico. Além disso, este método é também questionável em termos de eficiência.

Questão-chave

- Em quais condições e de que forma o monitoramento da qualidade do ar pode realmente contribuir para a melhoria da qualidade de vida das populações que se encontram tanto próximas quanto afastadas das fontes poluidoras do ar atmosférico?

Questões para reflexão

- Admitir limites máximos de poluição do ar pode ser interpretado como aceitação de um fenômeno que interfere negativamente na qualidade de vida do planeta. Nesse sentido, qual seria a melhor perspectiva a considerar: pressupor a necessidade de eliminação total da poluição de origem antropogênica ou estreitar gradativamente os limites estabelecidos?
- Os modelos de qualidade do ar são confiáveis para avaliação da qualidade do ar em áreas em que não há monitoramento? Quais as exigências para que isso se torne verdade?
- É certo considerar os aspectos ambientais antes da elaboração de políticas de desenvolvimento, ou priorizamos o desenvolvimento e procuramos depois viabilizá-lo ambientalmente? O que mais condiz com a filosofia de desenvolvimento sustentado? Como é a prática em termos de gestão da poluição do ar nos dias de hoje?

REFERÊNCIAS

STERN, Arthur C. **Air pollution: measuring, monitoring and surveillance of air pollution**. 3 ed. New York, Academic Press, 1976. Vol. 3.

STERN, Arthur C. et al. **Fundamentals of air pollution**. 2 ed. Orlando, Academic Press, 1984.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series: Quality assurance in urban air quality monitoring**. Nairobi, 1994. Vol. 1.

_____. **Quality measurement of suspended particulate matter in ambient air**. Nairobi, 1994. Vol.3.

_____. **Passive and active sampling methodologies for measurement of air quality**. Nairobi, 1994. Vol. 4.

AMERICAN ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US-EPA). **Code of Federal Regulation**, 40. Pt.58. Ambient Air surveillance, 1996.

_____. (US-EPA)/AIR POLLUTION TRAINING INSTITUTE (APTII). **Atmospheric sampling. student manual**. Course 435 2 ed.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for air quality**. Geneva, 1991.

URLs CONSULTADAS

<http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/networks/faq/howmon.html#pass>

How is Air Pollution Measured • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/networks/faq/howmon.html>

How is Air Pollution Measured? • Inglês • Acesso em 3/4/02

<http://www.agenda21.org.br/index2.htm>

Agenda 21 • Português • Acesso em 5/4/02

http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/geral/politica_meio/dec_fed9927490.htm

Decreto Federal nº 99.274, 6 de junho de 1990 • Português • Acesso em 24/4/02

<http://www.energetica.com.ar>

Energética - Qualidade do ar • Português • Acesso em 24/4/02

<http://www.epa.gov/oar/oaqps/modeling.html>

Air Quality Planning & Standards • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.epa.gov/quality1>

The EPA Quality System • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html>

Criteria pollutants • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.epa.gov/ttn/emc/ftir.html>

EMC – FTIR Technology • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.epa.gov/ttn/emc/ftir.html>

EMC – FTIR Technology • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.epd-asg.gov.hk/e/api/backgd/monitor.htm>

Air Quality Monitoring Equipment • Inglês • Acesso em 4/4/02

http://www.iihr.uiowa.edu/projects/new_jersey/

Lidar Applications in Air Pollution Monitoring • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.lakes-environmental.com/lakeepa.html>

US-EPA Models • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.mma.gov.br>

Ministério do Meio Ambiente • Português • Acesso em 4/4/02

<http://www.na.fs.fed.us/spfo/fhm/ozonetrng/pages/Biospecies.htm>
Ozone Boindicator Species List • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.na.fs.fed.us/spfo/fhm/ozonetrng/pages/Biospecies.htm>
Ozone Boindicator Species List • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.rpco.com/products/ambprod/amb1400/>
TEOM Series 1400^o Ambient Particulate Monitor • Inglês • Acesso em 3/4/02

<http://www.snake.irf.se/optlab/hut2/>
Differential Optical Absorption Spectrometer • Inglês • Acesso em 4/4/02

<http://www.who.int/home-page>
World Health Organization • Inglês • Acesso em 2/4/02

http://www2.etl.noaa.gov/DIAL_lidar
Light Detection and Ranging • Inglês • Acesso em 3/4/02