

## CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR

### **Introdução**

O controle da poluição do ar envolve desde o planejamento do assentamento de núcleos urbanos e industriais e do sistema viário, até a ação direta sobre a fonte de emissão. As medidas usualmente utilizadas para controlar este tipo de poluição são:

a) Medidas Indiretas

Ações que visam à eliminação, redução, diluição, segregação ou afastamento dos poluentes.

b) Medidas Diretas

Ações que visam reduzir a qualidade de poluentes descarregada na atmosfera, através da instalação de equipamentos de controle (“Filtros de Ar”).

### **Medidas Indiretas**

a) Planejamento Urbano e Medidas Correlatas

Método que consiste basicamente numa melhor distribuição espacial das fontes de poluição, aumentando a distância a comunidade receptora; diminuindo a concentração de atividades poluidoras próximas a núcleos residenciais; melhoria do sistema viário; proibindo a implantação de fontes altamente poluidoras em regiões críticas; localizando as fontes preferencialmente à jusante dos ventos predominantes na região, em relação a assentamentos residenciais, e controle da circulação desnecessária de veículos em áreas congestionadas.

Este método é tanto uma forma de diluição pela diminuição da densidade de fontes por área como de redução da emissão.

A utilização de ações de planejamento urbano para controle da poluição do ar pode reduzir, em curto prazo, as exigências de controle na fonte, pela possibilidade de utilização da capacidade diluidora da atmosfera, bem como, pode ser um método mais econômico e eficaz por se tratar de medida preventiva.

Infelizmente temos no Brasil e também no exterior, exemplos de falta de planejamento, do ponto de vista ambiental, da localização de complexos industriais, provocando graves problemas de poluição do ar.

b) Diluição através de Chaminés altas

A utilização de chaminés altas visa à redução da concentração do poluente ao nível do solo, sem a redução da quantidade emitida. Trata-se, portanto de medida cuja eficácia fica dependente da distribuição espacial das fontes e das condições meteorológicas e topográficas da região. É uma técnica



recomendável como medida adicional para melhoria das condições dos poluentes na atmosfera, após o devido controle da emissão na fonte.

#### c) Medidas para Impedir a Geração do Poluente

Em muitos casos os poluentes podem ser eliminados totalmente através da substituição de combustíveis, matérias-primas e reagentes que entram no processo, mudança de equipamentos e processos, ou seja, combustíveis, materiais e processos de baixa impacto ambiental, conduzindo a tecnologias limpas.

Um exemplo típico é a eliminação da emissão de compostos de chumbo por veículos a gasolina quando o chumbo tetraetila, um aditivo anti-detonante, deixa de ser adicionado à gasolina, sendo substituído por álcool (etanol) anidro.

A substituição de combustíveis com enxofre por combustíveis sem enxofre elimina a formação e a emissão de compostos de enxofre à atmosfera. O gás natural é praticamente isento de enxofre e pode substituir os óleos combustíveis que contém teores altos de enxofre.

#### d) Medidas para Reduzir a Geração de Poluentes

Essas medidas também significam produção com menor impacto ambiental e que levam às chamadas “tecnologias mais limpas”.

A diminuição da quantidade de poluentes gerada pode ser conseguida pelas seguintes medidas:

- operar os equipamentos dentro da sua capacidade normal.
- operar e manter adequadamente os equipamentos produtivos, caldeiras, fornos, veículos, etc.
- armazenamento adequado de materiais pulverulentos e/ou fragmentados, evitando a ação dos ventos sobre o mesmo.
- adequada limpeza do ambiente em conjunto com prédios projetados e construídos adequadamente.
- utilização de processos, equipamentos e operações de menor potencial poluidor.
- utilização de matérias-primas e reagentes de menor potencial poluidor.
- utilização de combustíveis de menor potencial poluidor.

Alguns exemplos dessa medida são: utilização dos veículos de acordo com as especificações da fábrica, não violando o lacre da bomba injetora em caminhões e ônibus, reduzindo com isso a emissão de fumaça preta; regulagem adequada do carburador e do motor de veículos a gasolina e a álcool; utilização de combustíveis com menor teor de enxofre; utilização de combustível gasoso ao invés de combustível sólido (carvão, lenha, etc) ou líquido que poluem mais; utilização de carro a álcool ao invés de carro a gasolina; utilização de fornos elétricos para produção de ferro e aço e na fundição de metais não ferrosos, ao invés de fornos a óleo ou a carvão;



utilização de processo de dupla catálise na produção de ácido sulfúrico ao invés do processo de catálise simples que elimina a necessidade de instalação de equipamentos de controle de dióxido de enxofre, além de reduzir o consumo de enxofre (matéria-prima importada), etc.

Ruas pavimentadas e limpas reduzem a emissão de poeira para a atmosfera, o que pode ser reduzido ainda mais pela umectação; evitar deixar áreas com solo sem vegetação mantendo-as menos gramadas, o que contribui inclusive para reduzir a erosão e o assoreamento.

### ***Medidas Diretas - Retenção dos Poluentes Após Geração***

Depois de esgotados todos os esforços com as medidas anteriormente mencionadas, sem que tenha sido conseguida a redução necessária na emissão ou concentração no ambiente, devem-se então utilizar os equipamentos de controle de poluentes (filtros).

Pode também resultar que a escolha recaia na implantação dos equipamentos de controle porque são mais econômicos ou mais disponíveis ou mais viáveis para casos específicos.

Sempre em conjunto com o equipamento de controle de poluição industrial existe um sistema de ventilação (captadores, dutos, ventilador e chaminé), cuja função é captar, concentrar e conduzir os poluentes para serem “filtrados”, com posterior lançamento do residual no ar.

### ***Classificação dos Equipamentos de Controle de Poluição do Ar***

Os equipamentos de controle são classificados primeiramente em função do estado físico de poluente a ser considerado. Em seguida a classificação envolve diversos parâmetros como mecanismo de controle, uso ou não de água ou outro líquido, etc. A seguinte classificação é usual:



a) Equipamentos de controle de material particulado:

Coletores secos	Coletores úmidos
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ coletores mecânicos inerciais e gravitacionais</li><li>▪ coletores centrífugos (ex.ciclones)</li><li>▪ precipitadores eletrostáticos secos</li><li>▪ precipitadores dinâmicos secos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ lavadores com pré-atomização (ex: lavador tipo spray)</li><li>▪ lavador com atomização pelo gás (ex: lavador venturi, lavador de orifício)</li><li>▪ lavador do leite móvel</li><li>▪ lavadores com enchimento</li><li>▪ precipitadores eletrostáticos úmidos</li><li>▪ precipitadores dinâmicos úmidos</li></ul>

b) Equipamentos de controle de gases e vapores:

- condensadores
- absorvedores
- absorvedores
- incineradores com chama direta
- incineradores catalíticos
- processos especiais

***Seleção de Equipamentos de Controle de Poluição de Ar***

A característica básica que influencia, em primeira instância, é a eficiência de coleta necessária para enquadrar emissão da fonte nos padrões exigidos. A eficiência de coleta, para todos os tipos de coletores de material particulado, é dependente da distribuição do tamanho das partículas presentes no gás a ser tratado.

O Quadro 1 mostra a eficiência de coleta de partículas para vários tipos de equipamentos, em função do tamanho das partículas. Os valores apresentados são eficiências usuais, e são apresentadas somente para fins comparativos. Uma vez que a eficiência de cada equipamento depende das condições de projeto e de operação.



**Quadro 1 - Eficiência fracionada de coletores de material particulado em função de distribuição de tamanho das partículas \* (em porcentagem).**

Tipo de Equipamento	FAIXAS DE DIÂMETROS ( $\mu\text{m}$ )				
	0-5	5-10	10-20	20-44	>44
Câmara de sedimentação (com chicanas)					
Ciclone de baixa pressão	7,5	22,0	43,0	80,0	90,0
Ciclone de alta pressão	12,0	33,0	57,0	82,0	91,0
Multiciclone	40,0	79,0	92,0	95,0	97,0
Filtro de tecido	25,0	54,0	74,0	95,0	98,0
Lavadores de média energia	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Lavadores Venturi (lavador de alta energia)	80,0	90,0	98,0	100,0	100,0
Precipitador eletrostático	95,0	99,0	100,0	100,0	100,0
	97,0	99,0	99,5	100,0	100,0

### **Fatores Envolvidos**

Os fatores envolvidos na escolha de um equipamento de controle técnica e economicamente viável são:

### **Caracterização do Problema**

- a) Identificação da Fonte Emissora, Tipo de Poluente
- b) Quantidade emitida, obtida através de balanço material; fatores de emissão; amostragem em chaminé.
- c) Características do Fluxo Grosso. Composição do gás; vazão de gases a serem tratados; variabilidade do fluxo; temperatura dos gases; pressão dos gases; umidade e ponto de orvalho; viscosidade; Corrosividade; explosividade.
- d) Características dos Poluentes. . Reatividade; concentração; granulometria (se partículas); Composição; densidade; forma da partícula; combustibilidade; Abrasividade; corrosividade; propriedades elétricas; higroscopicidade; Solubilidade; capacidade de se aglomerar (no caso de partículas); reatividade.
- e) Condição de lançamento na atmosfera. Altura da chaminé; localização da chaminé.
- f) Características da Indústria. Condições meteorológicas da região; localização em relação a áreas residenciais, parques, áreas verdes em geral, outras industrias mais sensíveis à poluição; disponibilidade de insumos (água, energia elétrica e combustível); área disponível para implantação do sistema de controle; condições para disposição de resíduos; necessidade de recuperação do calor.
- g) Possíveis Efeitos dos Poluentes. . Danos à saúde; danos à vegetação; danos a materiais; odor; natureza das reclamações.



- h) Grau de Controle Requerido. Exigências legais; padrão de emissão; padrão de qualidade do ar; padrão de condicionamento e projeto; eficiência requerida; exigência da comunidade; condições previsíveis para o futuro; exigências quanto à disposição de resíduos.

## Possíveis Soluções

### a) Métodos Indiretos

- Eliminar a geração do poluente
- Minimizar a qualidade gerada
- Diluição através de chaminé alta
- Adequada localização da fonte

### b) Métodos Diretos

- Material Particulado
  - . Câmara de sedimentação gravitacional
  - . Ciclone
  - . Multiciclones
  - . Lavadores
  - . Lavador venturi
  - . Filtro de tecido
  - . Precipitadores eletrostáticos
  - . outros
- Gases e Vapores
  - . Absorvedores
  - . Adsorvedores
  - . Incineradores de gases
  - . Condensadores
  - . Outros

### c) Combinação de dois ou mais métodos

### d) Característica de Cada Alternativa

Aplicabilidade ao caso; eficiência de controle; espaço requerido; Consumo de água; consumo de energia; controles requeridos; Simplicidade ou complexidade de construção e operação; requisitos de manutenção; flexibilidade do sistema; aspectos de segurança; vida média; temperatura máxima de operação; limitação quanto à umidade; materiais de construção requeridos; equipamentos auxiliares; disponibilidade no mercado (equipamento e papel): disponibilidade e qualidade da assistência técnica; sistemas de exaustão.



## Aspectos Econômicos de Cada Alternativa

De posse das possíveis alternativas técnicas para controle da fonte de poluição do ar, deve ser então procedida à análise econômica das diversas alternativas, de forma a encontrar aquela de menor custo.

Na análise econômica deverão ser considerados:

- a) Custo de Implantação - Projeto; materiais auxiliares; construção civil; movimentação de terra; estrutura necessária; custo de instalação e montagem; tratamento de resíduos; transporte; imposto; seguro.
- b) Custos de operação e manutenção - Os custos de operação e manutenção incluem:
  - . custo da mão de obra para operar o sistema;
  - . custo das utilidades: eletricidade, combustíveis, água, vapor e ar comprimido;
  - . custo da disposição do material coletado;
  - . custo de mão-de-obra para manutenção
  - . custo de peças de reposição;
  - . custo de outros materiais necessários para manutenção;
  - . seguros;
  - . custo administrativo e encargos sociais;
  - . taxa de amortização do equipamento

c) O valor obtido com a re-utilização ou venda do material coletado

## Custo Anualizado

Para a determinação do custo total anualizado de sistemas de controle de poluição do ar utilizaremos o método do Custo Anual Equivalente, com taxa mínima de atratividade, acrescido dos custos de operação e de manutenção. Considerando-se um valor residual de 10% ao fim da útil do sistema tem-se:

$$CTSA = 0,9 \cdot CS \cdot \left[ \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)} \right] + 0,1 \cdot CS \cdot i + COA + CMA$$

Sendo:

CTSA= Custo total anual do sistema

CS= Capital investido para a implantação do sistema

i= taxa de atratividade

n= vida útil do sistema

0,1 CS= valor residual ao fim da vida útil do sistema

COA= Custo de operação anual

CMA= Custo de manutenção anual

É importante verificar para cada alternativa de controle os seus usos, vantagens e desvantagens. Esses fatores estão apresentados a seguir:



## Usos, Vantagens e Desvantagens dos Equipamentos de Controle de Poluição do Ar

ECP	Usos	Vantagens	Desvantagens
Câmara de Sedimentação Gravitacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pré-coletor de partículas grandes (&gt; 40 micrômetros)</li> <li>Diminuir (reduzir) carga para coletor final</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa perda de carga (&lt; 12,5 mm CA)</li> <li>Projeto, Construção e Instalação simples</li> <li>Baixo custo de instalação, operação e manutenção</li> <li>Pouco desgaste</li> <li>Não tem limitação de temperatura. Só depende dos materiais de construção</li> <li>Coleta a seco (permite recuperação fácil)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa eficiência para partículas pequenas (abaixo de 10 micrômetros)</li> <li>Requer grande espaço para instalação</li> <li>Requer cuidados especiais para substâncias inflamáveis ou explosivas</li> </ul>
Coletores centrífugos secos (Ciclones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Em geral é utilizado como pré-coletor para partículas de tamanho médio e grande (&gt; 10 micrômetros)</li> <li>Coletor final em alguns casos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo custo de construção</li> <li>Perda de carga baixa a média (50 a 150 mm CA)</li> <li>Projeto relativamente simples</li> <li>Equipamento simples com poucos problemas de manutenção</li> <li>Simple de operar</li> <li>Não tem limitação de temperatura e pressão exceto pelo material de construção</li> <li>Espaço para instalação relativamente pequeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa eficiência para partículas pequenas (&lt; 10 micrômetros)</li> <li>Possibilidade de entupimento no material adesivo ou higroscópico</li> <li>Pode apresentar problemas de abrasão para determinados tipos de partículas e determinadas velocidades</li> <li>Não pode ser utilizado para partículas com características adesivas</li> </ul>
Filtro - Manga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coletor final de partículas de todos os tamanhos inclusive submicrônicas, exceto oleosas e adesivas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporciona altas eficiências de coleta (acima de 99%)</li> <li>Pouco sensível à flutuação de vazão e concentração</li> <li>Coleta a seco possibilitando recuperação de material sem tratamento</li> <li>Não apresenta problemas de resíduos líquidos</li> <li>Corrosão pouco acentuada</li> <li>Manutenção simples</li> <li>Operação relativamente simples</li> <li>Princípio de funcionamento e projeto simples</li> <li>Perda de carga e custo de operação moderados</li> <li>Vida útil longa (10 a 15 anos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temperaturas máximas limitadas em função do material das mangas</li> <li>Pode requerer tratamento especial das mangas para determinadas aplicações</li> <li>Custo de manutenção alto (troca de mangas)</li> <li>Material higroscópico, adesivos e condensação de umidade podem ocasionar entupimento das mangas</li> <li>Localização de mangas furadas relativamente difícil</li> <li>Requer espaço razoável especialmente no caso de limpeza por fluxo reverso e por vibração</li> </ul>
Lavador para coleta de partículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pré-coletor final de partículas de todos os tamanhos</li> <li>Podem ser utilizados também para a coleta determinados gases e ou vapores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não é fonte secundária de poeiras</li> <li>Em geral compactos, exigindo pouco espaço para instalação</li> <li>Coleta partículas adesivas sem ocasionar entupimento</li> <li>Pode tratar gases e altas temperaturas e altas umidades</li> <li>Pode proporcionar alta eficiência de coleta de partículas pequenas (a custa de altas perdas de carga)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pode criar problema de poluição das águas</li> <li>Pode necessitar sistema de tratamento de efluentes líquidos</li> <li>O material é coletado a úmido dificultando a sua reutilização</li> <li>Mais suscetível a problemas de corrosão</li> <li>Perda de carga alta para altas eficiências de coleta (lavador venturi)</li> <li>Necessita material de construção especial (inox ou fibra de vidro)</li> <li>Pode apresentar pluma visível, por condensação de vapor d'água</li> <li>Custo de manutenção relativamente alto</li> <li>Pode apresentar problemas de incrustação</li> </ul>



ECP	Usos	Vantagens	Desvantagens
Precipitador Eletrostático	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Coleta final para partículas de todos os tamanhos</li> <li>. Fontes medidas a grandes vazões</li> <li>. Em geral para grandes vazões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Alta eficiência de coleta. Pode exceder 99,9%</li> <li>. Coleta partículas submicrônicas</li> <li>. Baixa perda de carga. Em geral não excede a 12,5 mm CA</li> <li>. Baixo custo operacional</li> <li>. Coleta a seco possibilitando fácil reutilização</li> <li>. Pode coletar partículas sólidas e líquidas que são difíceis de coletar com outros equipamentos</li> <li>. Poucos problemas de manutenção e operação</li> <li>. Podem ser operados continuamente por longos períodos . Processam altas vazões e faixa ampla de concentração</li> <li>. Podem operar em faixa ampla de pressões positivas ou negativas</li> <li>. Vida útil longa, podendo atingir mais de 20 anos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Investimento inicial alto</li> <li>. Requer grande espaço para instalação</li> <li>. Apresenta riscos de explosão quando processa partículas ou gases inflamáveis / explosivos</li> <li>. Exige medidas especiais de segurança contra alta voltagem</li> <li>. Muito sensível a variações de vazão, temperatura e umidade</li> <li>. Alguns materiais são de difícil coleta por apresentarem resistividade alta ou baixa</li> <li>. Exige pessoal qualificado para manutenção</li> <li>. Produção de ozona nas descargas elétricas</li> </ul>
Absorvedor de enchimento e de pratos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Controle de gases e vapores (absorção de amônia, dióxido de enxofre, ácido fluorídico, gás sulfídrico, hidrocarbonetos de baixo peso molecular)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Perda de carga relativamente baixa</li> <li>. Uso de fibra de vidro permite em atmosferas corrosivas</li> <li>. Capaz de atingir altas eficiências de coleta</li> <li>. Versáteis quanto ao aumento de eficiência (aumento da altura ou troca de enchimento)</li> <li>. Pode coletar gases e partículas, no entanto a presença de partículas pode causar entupimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Pode criar problema de poluição das águas</li> <li>. Necessita tratamento de efluentes</li> <li>. Necessita controle de temperatura no caso de fibra de vidro</li> <li>. Custo de manutenção relativamente alto</li> <li>. Comparação entre torres de enchimento e de pratos</li> <li>-Colunas de enchimento: <ul style="list-style-type: none"> <li>. Menos perda de carga</li> <li>. Simples e de menor custo de construção</li> <li>. Preferível para líquidos com tendência a formar espuma</li> </ul> </li> <li>-Colunas de pratos: <ul style="list-style-type: none"> <li>. Menos susceptíveis ao entupimento</li> <li>. Mais leves</li> <li>. Menos formação de "Channeling" (tendência do líquido de se dirigir para a periferia da torre)</li> </ul> </li> </ul>
Adsorvedores	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Remoção de gases e vapores orgânicos e inorgânicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. É possível a recuperação do produto</li> <li>. Pouco sensível a variações do processo</li> <li>. Não há problema de disposição de resíduos quando se processa a recuperação do produto</li> <li>. Capacidade de operação totalmente automática</li> <li>. Podem ser atingidas altas eficiências de coleta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Baixa capacidade de absorção para vários gases e vapores</li> <li>. Recuperação do poluente em geral cara</li> <li>. O adsorvente deteriora-se progressivamente com o uso, necessitando substituição</li> <li>. Regeneração requer fonte de vapor, calor ou vácuo</li> <li>. Investimento inicial relativamente alto</li> <li>. Requer pré-filtragem de partículas para evitar entupimento</li> <li>. Necessita condicionamento dos gases em relação à temperatura (em geral trabalha a menos de 50 °C)</li> <li>. Necessita grande quantidade de vapor para a desorção de hidrocarbonetos de alto peso molecular</li> </ul>

ECP	Usos	Vantagens	Desvantagens
-----	------	-----------	--------------



Incineradores de gás	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Controle de gases e vapores orgânicos</li> <li>. Controle alguns gases inorgânicos (ex:H<sub>2</sub>S - gás sulfídrico)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Operação simples</li> <li>. Alta eficiência de coleta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Custo de operação alto (usa combustível auxiliar)</li> <li>. Perigo de explosão pelo retorno da chama</li> <li>. Envenenamento do catalisador, no caso de incineração catalítica</li> <li>. Combustão incompleta é fonte de poluição do ar</li> </ul>
. Condensação	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Controle de vapores em altas concentrações e com pressão de vapor alta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Permite recuperação de produto puro . Desvantagens</li> <li>. Eficiência de coleta baixa para concentrações típicas de fontes de poluição do ar</li> <li>. Custo de resfriamento em geral é alto</li> </ul>	

