

NÃO PODE SER
EMPRESTADO OU
XEROCOPIADO



**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA
SETOR DE TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO TÉCNICA**

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcia
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

**SÃO PAULO
1996**

9211/A579v(RCET)/017168
Ventilacao industrial...

02197

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Engenheiro João Vicente Assunção

DOCENTES

Engenheiro Carlos Eduardo Komatsu

Engenheiro João Vicente Assunção

Engenheiro Paulo Tetuia Hasegawa

Engenheiro Roberto Kenji Suhara

Engenheiro Sérgio Pascoal Pereira

Engenheiro Sérgio Rancevas

**É expressamente proibida a reprodução total ou parcial deste material sem a
autorização da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
Uso exclusivo dos participantes dos cursos.**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS	1
1.1. Introdução	1
1.2. Definição e classificação	1
1.3. Tipos de poluentes do ar	1
1.4. Padrões ocupacionais e ambientais	3
1.5. Conceitos básicos de engenharia aplicáveis à ventilação	5
2. TAXAS DE VENTILAÇÃO	17
2.1. Necessidades humanas de ventilação	17
2.2. Taxa de ventilação para retirada de calor	20
3. VENTILAÇÃO GERAL	31
3.1. Ventilação geral natural	31
3.2. Ventilação geral diluidora	36
4. VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA (VLE)	43
4.1. Introdução	43
4.2. Captação dos poluentes	43
4.3. Captação para processos quentes	62
4.4. Captação para tanques	70
5. VLE - SISTEMA DE DUTOS	85
5.1. Transporte dos poluentes	85
5.2. Dimensionamento dos dutos	86
5.3. Requisitos de energia no sistema de dutos	86
5.4. Singularidades	86
5.5. Balanceamento de tramos	91
6. EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR	97
6.1. Eficiência de controle	97
6.2. Equipamentos de controle de material particulado	99
6.3. Equipamentos de controle de gases e vapores	101
7. CONJUNTO VENTILADOR-MOTOR	117
7.1. Importância	117
7.2. Classificação dos ventiladores	117
7.3. Curva ou tabela característica	118
7.4. Pressão e potência do ventilador	118
7.5. Lei dos ventiladores	123
7.6. Interação ventilador-sistema	124
7.7. Seleção do ventilador	129
7.8. Uso de ventiladores em série e em paralelo	129

7.9. Localização do ventilador	129
7.10. Instalação	131
7.11. Interligação do sistema	131
7.12. Motor	131
8. CHAMINÉ	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
ANEXOS	137

VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS

1.1. - INTRODUÇÃO

A ventilação é uma técnica disponível e bastante efetiva para controle da poluição do ar de ambientes de trabalho e mesmo de ambientes residenciais e de lazer. A sua adequada utilização promove a diluição ou retirada de substâncias nocivas ou incômodas presentes no ambiente de trabalho, de forma a não ultrapassar os limites estabelecidos na legislação (Limites de Tolerância) ou os níveis aceitáveis ou recomendados. A ventilação também pode ser utilizada para controlar a concentração de substâncias explosivas e/ou inflamáveis, agindo dessa forma no aspecto de segurança tanto do trabalhador como dos bens materiais da empresa. A ventilação também é útil na conservação de materiais e equipamentos. Finalmente, seu uso pode promover ou auxiliar no conforto térmico dos ambientes de trabalho e ambientes em geral.

Na prática, tem-se verificado que muitos dos sistemas de ventilação instalados não vêm funcionando a contento, seja por falha de projeto, seja por construção ou funcionamento fora das condições de projeto ou mesmo por falta de manutenção adequada.

1.2. - DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Ventilação pode ser definida como a movimentação intencional do ar, de forma planejada, com o intuito de atingir um determinado objetivo. Essa movimentação pode ser feita por meios naturais ou mecânicos. Deve-se ter em mente que o ar sempre se movimenta da zona de maior pressão para zona de menor pressão. Portanto, o projeto correto de diferenciais de pressão no sistema é de fundamental importância para o seu bom funcionamento.

Os sistemas de ventilação podem ser classificados em VENTILAÇÃO GERAL, natural ou mecânica, que é aquela que ventila o ambiente como um todo, também conhecida como Ventilação Geral Diluidora (VGD), e VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA que retira as substâncias emitidas diretamente do local de geração, conduzindo-os para o ar externo. Os dois tipos estão mostrados na Figura 1.1.

1.3. - TIPOS DE POLUENTES DO AR

As substâncias emitidas nos ambientes de trabalho podem estar na forma de partículas sólidas ou líquidas (aerossóis) ou na forma gasosa (gases e vapores) ou ainda na forma mista.

A forma como a substância é emitida é importante do ponto de vista de ventilação e também do ponto de vista toxicológico. Assim, partículas grosseiras (maiores que 40 micrometros) se depositam logo após a emissão e não representam, em geral, um problema de saúde ocupacional. A inércia das partículas maiores também é um fator importante do ponto de vista aerodinâmico e deve ser levado em consideração quanto ao projeto do sistema de captação e transporte.

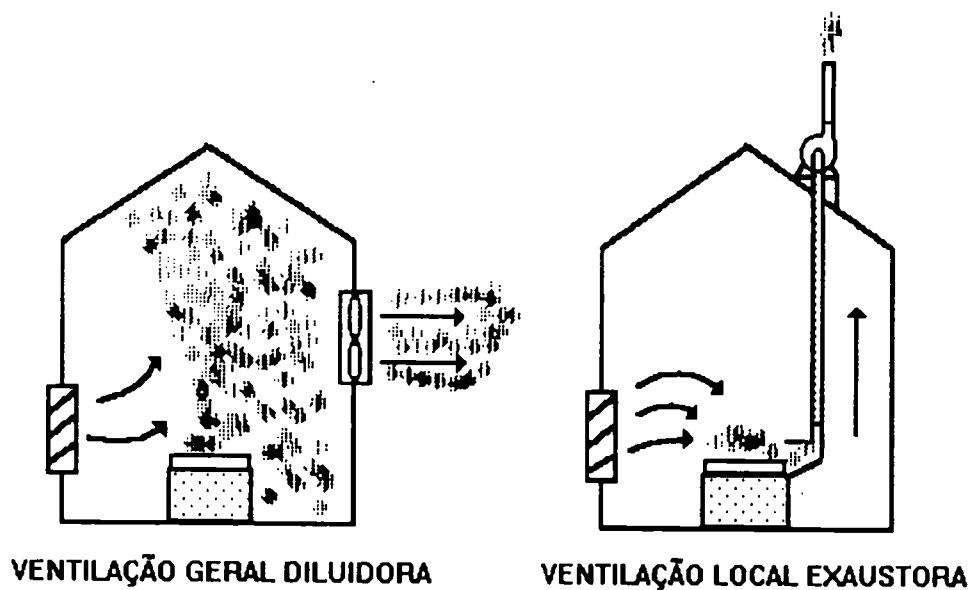


Figura 1 - Diferença entre Ventilação Geral Diluidora e Ventilação Local Exaustora

Dentre as partículas pequenas destacam-se aquelas de diâmetros menores que aproximadamente 10 micrometros que são consideradas respiráveis. Quanto menor o diâmetro da partícula, maior a probabilidade de penetração mais profunda no aparelho respiratório, aumentando o risco de causar danos à saúde. Esses danos dependem evidentemente da toxicidade, quantidade de partículas presentes no fluxo e do tempo de exposição.

Os aerossóis são sistemas dispersos, cujo meio de dispersão é gasoso e cuja fase dispersa consiste de partículas sólidas ou líquidas. A classificação usual aceita é aquela que diferencia entre aerossóis formados por dispersão e condensação, adotando-se a seguinte terminologia para os diversos aerossóis:

- **Poeiras:** aerossóis formados por dispersão e constituídos por partículas sólidas, geralmente com diâmetro maiores que 1 micrometro. Exemplos: poeira de sílica, poeira de asbesto, poeira de algodão.
- **Fumos:** aerossóis formados pela condensação, sublimação ou reação química e constituídos por partículas sólidas geralmente com diâmetros menores que 1 micrometro. Exemplos: fumos metálicos em geral (chumbo, alumínio, zinco, etc.) e fumos de cloreto de amônio.
- **Fumaças:** aerossóis resultantes da combustão incompleta de materiais orgânicos (combustíveis em geral). São constituídas por partículas com diâmetros geralmente inferiores a 1 micrometro.
- **Névoas:** aerossóis constituídos por partículas líquidas, independentemente da origem e do tamanho das partículas. Exemplo: névoas de ácido sulfúrico e névoas de tinta.

As substâncias gasosas podem ser subdivididas em gases verdadeiros e vapores. Os gases verdadeiros são fluidos sem forma e que somente podem ser liquefeitos ou solidificados pelo efeito continuado de aumento de pressão e/ou da diminuição da temperatura. Em outras palavras, os gases verdadeiros não estão presentes na forma líquida ou sólida nas condições usuais do ambiente em termos de temperatura e pressão. O seu tamanho logicamente é o molecular. O monóxido de carbono, o cloro, a ozona são exemplos de gases verdadeiros. Os vapores são sólidos ou líquidos nas condições usuais do ambiente e que podem ser condensados por diminuição de temperatura e/ou aumento de pressão. Vapores de

mercúrio, benzeno, álcool etílico, água, gasolina são alguns exemplos.

Existem também no ar partículas de organismos vivos de interesse para a ventilação tais como os pó-lens, vírus, fungos, etc.

1.4. - PADRÕES OCUPACIONAIS E AMBIENTAIS

1.4.1. - PADRÕES OCUPACIONAIS

As concentrações máximas permitidas nos ambientes de trabalho são denominadas Limites de Tolerância (LT), também chamados de TLV (Threshold Limit Value) e correspondem aos Limites de Tolerância dos EUA.

O limite de tolerância refere-se à concentração de substância no ar e representa a condição na qual não deverão ocorrer danos à saúde da maioria dos trabalhadores, para a jornada de trabalho especificada e durante toda a vida de trabalho.

Os limites de tolerância são baseados em estudos epidemiológicos, estudos experimentais em animais e em fatores sociais e econômicos.

No Brasil, os limites de Tolerância para agentes químicos foram estabelecidos pela portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho na sua Norma Regulamentária nº 15 (NR 15) anexos 11 e 12 e se basearam nos valores publicados anualmente, desde 1947, pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH, conhecidos como TLV, aplicando-se um fator de correção 0,78 e representam o estágio de conhecimento científico à época da sua proposição.

Como o conhecimento científico é constantemente atualizado, a legislação também deve ser dinâmica de forma a realmente proteger a saúde do trabalhador.

Desta forma, recomenda-se, no caso de projetos de ventilação, basear-se nos TLVs atualizados publicados pela ACGIH, que são limites aceitos universalmente, ressaltando-se os casos em que a legislação brasileira seja mais restritiva ou que existam informações mais confiáveis.

Na utilização dos Limites de Tolerância, deve ser levado em consideração que os mesmos foram fixados para jornada de 48 horas semanais no Brasil e 40 horas nos EUA. Devem também ser observadas as três categorias citadas a seguir:

- A) **Limites de tolerância - média ponderada:** são válidos para substâncias que não têm valor teto fixado e representam a média ponderada das concentrações observadas durante a jornada de trabalho, ou seja, pode-se ter valores acima do limite fixado desde que a média seja igual ou inferior ao limite de tolerância.
- B) **Limites de tolerância - curta exposição:** as oscilações para cima devem respeitar um valor máximo que não pode ser ultrapassado e que é obtido através da aplicação de um fator de desvio sobre o limite de tolerância para toda a jornada de trabalho, conforme fórmula a seguir:

$$LT (\text{curta exposição}) = LT (\text{média ponderada}) \times FD$$

onde FD é o fator de desvio que depende da grandeza do Limite de Tolerância - Média Ponderada de acordo com a tabela a seguir:

<i>LT - Média Ponderada (ppm ou mg/m³)</i>	<i>Fator de Desvio</i>
$0 < LT \leq 1$	FD = 3,00
$1 < LT \leq 10$	FD = 2,00
$10 < LT \leq 100$	FD = 1,50
$100 < LT \leq 1000$	FD = 1,25
$LT > 1000$	FD = 1,10

Os valores para curta exposição, válidos para tempo de exposição máxima de 15 minutos, não devem se repetir mais que 4 vezes ao dia, devendo ainda haver intervalo de no mínimo 1 hora entre duas ocorrências desse tipo.

- C) **Limite de tolerância - valor teto:** representa o limite de concentração que não deve ser excedido em momento algum da jornada de trabalho. Para as substâncias assinaladas com valor teto não são aplicados os fatores de desvio sendo o valor máximo sempre igual ao limite de Tolerância - Média Ponderada fixado.

1.4.2. - PADRÕES AMBIENTAIS

Em relação à poluição do ar externo, dois tipos de Padrões são usuais na legislação ambiental, quais sejam:

- Padrões de Qualidade do Ar
- Padrões de Emissão
- Padrões de Condicionamento e Projeto

Os Padrões de Qualidade do Ar foram estabelecidos a nível federal através da resolução CONAMA 03, de 28 de junho de 1990, prevendo-se limites máximos no ar externo para cinco poluentes (monóxido de carbono, dióxido de enxofre, material particulado, ozônio). Esses padrões são de pouco uso para projetos de ventilação.

Os Padrões de Emissão representam as quantidades máximas que podem ser lançadas na atmosfera por uma determinada fonte de poluição. Esses Padrões são, em geral, estabelecidos pela legislação Estadual e podem variar de região para região, dentro do mesmo Estado. Em geral, são estabelecidos valores diferentes para fontes existentes e para novas fontes. Esses dados podem ser obtidos junto ao órgão de controle de poluição da região.

Os padrões de condicionamento e projeto fixam condições a serem obedecidas pela fonte de poluição na sua localização, funcionamento e valores de parâmetros ou condições de projeto e de lançamentos na atmosfera (tipo de combustível, altura de chaminé, etc.).

1.5. - CONCEITOS BÁSICOS DE ENGENHARIA APLICÁVEIS À VENTILAÇÃO

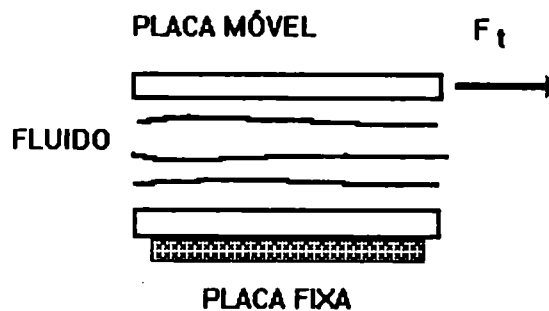
1.5.1. - DEFINIÇÃO DE FLUIDO

Fluido é um corpo não rígido, que não resiste a tensões de cisalhamento, por pequenas que sejam. Um fluido sob a ação de uma força tangencial qualquer, deforma-se continuamente. Os fluidos são compostos de moléculas em constante movimento e colisão.

1.5.2. - VISCOSIDADE

Sobre os corpos fluidos ocorrem apenas os esforços de compressão e cisalhamento. Os pontos de um fluido em contato com uma superfície sólida possuem a mesma velocidade dos pontos desta com os quais estejam em contato (Princípio da Aderência).

Seja uma F aplicada sobre uma superfície de área A , de um fluido. Esta força pode ser decomposta em uma força normal de compressão (F_N) e outra tangencial (F_t). Esta força tangencial ocasiona então a tensão de cisalhamento (τ).



A Tensão de cisalhamento (τ) será

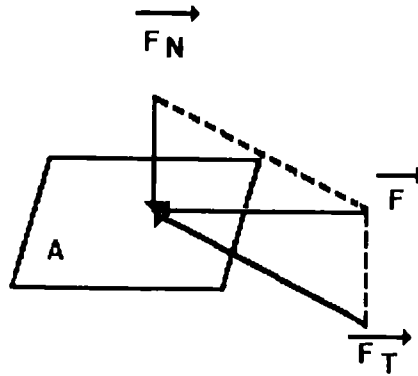
$$\tau = \frac{F_t}{A}$$

Onde:

A = área de aplicação da força

F_t = força tangencial

A figura a seguir mostra, esquematicamente, o que ocorre quando um corpo fluido é submetido a uma força tangencial.



Se na camada de fluido A, de espessura elementar de , aplicarmos uma força tangencial F_T , a camada A irá adquirir uma velocidade V_a . Este movimento será transferido às camadas inferiores na direção do eixo y . Isto indica que há esforços agindo nas superfícies de contato de camadas inferiores, sendo estes esforços de cisalhamento (τ). Para fluidos newtonianos (ar, água, certos óleos) temos:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$$

Onde μ é uma constante de proporcionalidade denominada viscosidade absoluta ou dinâmica.

O esforço de cisalhamento entre camadas e, por conseqüência, a viscosidade são decorrentes de dois fenômenos:

- forças de coesão intermoleculares
- transferência de momento

VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE COM A TEMPERATURA

A viscosidade absoluta é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura menor a viscosidade. Um exemplo para fácil observação desse fenômeno é a comparação do óleo de motor quente e frio.

No caso de gases ocorre o inverso, ou seja, quanto maior a temperatura maior a viscosidade. Esse fenômeno é explicado pela prevalência da transferência de momento que aumenta com o aumento da temperatura, em relação à força de coesão intermolecular. No caso do ar, a variação da viscosidade com a temperatura é dada por:

$$\mu = \mu_o \cdot \left(\frac{T}{T_o} \right)^{0,768}$$

Pela análise dimensional, tem-se:

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy} = \frac{F/L^2}{L/T/L} = FL^{-2} T$$

Unidades:

No sistema MKS*: $\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = \text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$

No sistema CGS: $\text{dina} \cdot \text{s}/\text{cm}^2 = \text{poise}$

No sistema MKS GIORGI: $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$

No sistema inglês: $\text{lb} \cdot \text{s}/\text{pé}^2 = \text{lb}/\text{pé} \cdot \text{s}$

1.5.3. - ALGUMAS DEFINIÇÕES IMPORTANTES

A) *Peso Específico* (γ)

- *Peso específico*: é o peso do fluido na unidade de volume.

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{mg}{V} = \rho \cdot g$$

onde $\rho = \frac{m}{V}$

P = peso

V = volume

- *Massa específica ou densidade* (ρ): é a massa de fluido por unidade de volume.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

B) *Peso Específico Relativo* (γ_r)

- para líquidos:

$$\gamma_r = \frac{\gamma_{\text{subst}}}{\gamma_{\text{água}}}$$

- para gases:

$$\gamma_r = \frac{\gamma_{\text{subst}}}{\gamma_{\text{ar padrão}}}$$

$$\gamma_{\text{ar padrão}} = 1,2 \text{ kgf} / \text{m}^3 \text{ (a } 21^\circ \text{C e } 1 \text{ atm)}$$

C) **Densidade Relativa ou Gravidade Específica (ρ_r ou GE)**

- para líquidos ou sólidos:

$$\rho_r = \frac{\rho_{\text{subst}}}{\rho_{\text{água}} (4^\circ \text{C e } 1 \text{ atm})}$$

$$\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf} / \text{m}^3$$

- para gases:

$$\rho_r = \frac{\rho_{\text{subst}}}{\rho_{\text{ar padrão}} (a 21^\circ \text{C e } 1 \text{ atm})}$$

$$\rho_{\text{ar padrão}} = 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3$$

D) **Viscosidade cinemática (ν)**

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

μ = coeficiente de viscosidade absoluta ou dinâmica do fluido

ρ = densidade do fluido

Unidades:

Sistema MKS* - m^2/s

Sistema MKS Giorgi - m^2/s

Sistema CGS - $\text{cm}^2/\text{s} = \text{Stoke}$

Sistema inglês - $\text{pé}^2/\text{s}$

- E) **Compressibilidade:** fluido incompressível é aquele cujo volume não varia com a alteração de pressão. Em ventilação, o ar em geral é considerado incompressível em pequenas diferenças de pressão que ocorrem.

1.5.4. - EQUAÇÃO DE ESTADO DOS GASES

Para um gás perfeito temos:

$$PV = nRT \text{ (Equação de CLAPEYRON)}$$

Onde:

P = pressão

V = Volume do fluido

n = Número de moles do gás

R = Constante dos gases

T = Temperatura absoluta

Como

$$n = \frac{m}{M}$$

m = massa

M = peso molecular

Tem-se:

$$PV = \frac{m}{M} RT \rightarrow P = \frac{m}{M} \times \frac{RT}{V}$$

Como

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$P = \frac{\rho RT}{M} \Rightarrow \rho = \frac{PM}{RT}$$

Observação: em baixas pressões o ar e outros gases podem ser considerados perfeitos.

- Em uma transformação isotérmica tem-se $T_2 = T_1 = T$

Logo:

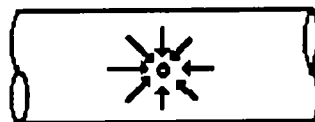
$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \text{ ou } \rho_2 = \rho_1 \frac{P_2}{P_1}$$

- Em uma transformação isobárica tem-se $P_2 = P_1 = P$ e portanto:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{T_1}{T_2} \text{ ou } \rho_2 = \rho_1 \frac{T_1}{T_2}$$

1.5.5. - PRESSÃO

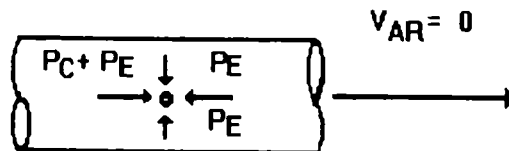
- A) **Pressão Estática (P_e):** é a pressão exercida por um fluido em repouso em um corpo imerso no mesmo.



A pressão estática em um ponto de um fluido é a mesma em todas as direções, mesmo se o fluido estiver em movimento.

Observação: a pressão estática efetiva pode ser positiva ou negativa, em relação a pressão atmosférica local, se for respectivamente maior ou menor que a pressão do local.

- B) **Pressão Cinética ou de Velocidade (P_c):** é a pressão devido à energia cinética do fluido. A pressão cinética não age na direção perpendicular à direção de escoamento do fluido. A pressão cinética é sempre positiva ou nula.



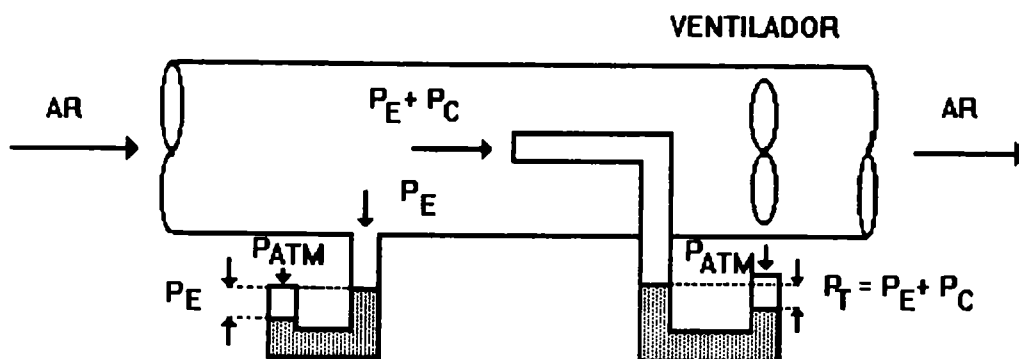
- C) **Pressão Total (P_t):** a pressão total é a soma algébrica da pressão estática e pressão cinética, ou seja:

$$P_t = P_e + P_c$$

Observação: a pressão total pode ser positiva, negativa ou nula em relação à pressão atmosférica local.

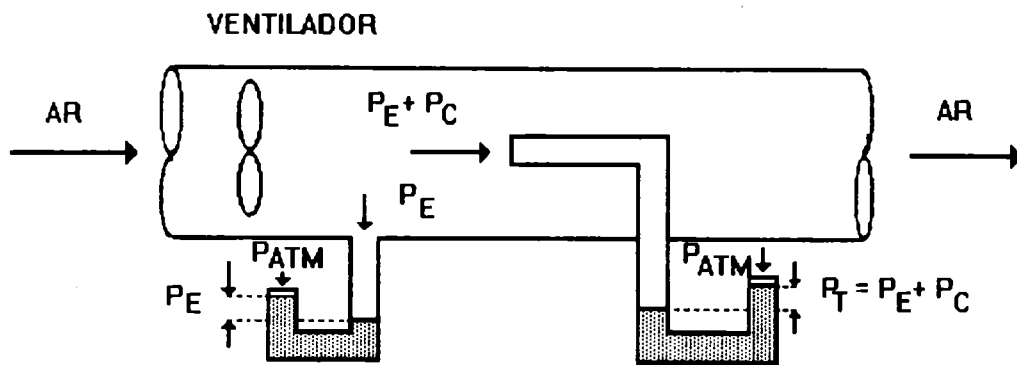
1.5.6. - MEDIÇÃO DE PRESSÕES

- Condição antes do ventilador



Nota: antes do ventilador a P_e é negativa, a P_c positiva e a P_t negativa.

- Condições depois do ventilador



Nota: após o ventilador todas as pressões são positivas.

1.5.7. - REGIMES DE MOVIMENTO DE FLUIDOS

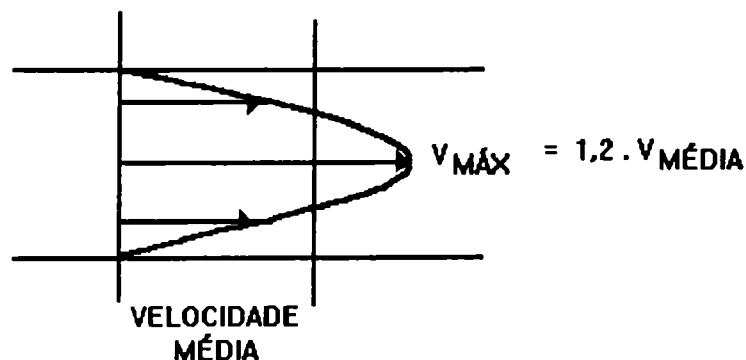
Um fluido em movimento pode estar em regime laminar, turbulento ou de transição, divisão essa que pode ser relacionada com o número de Reynolds (R_e).

<i>Regime</i>	<i>Número de Reynolds</i>
Laminar	- $Re < 2.000$
Transição	- $2.000 < = Re < = 2.500$
Turbulento	- $Re > 2.500$

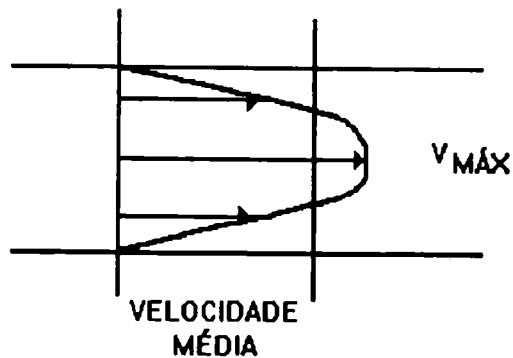
$$R_e = \frac{\text{forças inerciais}}{\text{forças viscosas}} = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Nota: em ventilação, usualmente o regime é turbulento.

- Perfil de Velocidade no regime laminar (perfil parabólico)



- Perfil de velocidade no regime turbulento (parábola achatada)



$$\frac{V_{\text{média}}}{V_{\text{máxima}}} = f(R / Di R_e)$$

Onde:

R = Rugosidade

D = Diâmetro da tubulação

1.5.8. - EQUAÇÃO DA HIDROSTÁTICA

Essa equação demonstra que a variação da pressão estática entre dois pontos quaisquer de um corpo fluido é função da diferença de cotas entre esses pontos.

Sendo P_1 = Pressão do líquido na altura h_1 e P_2 = Pressão do líquido na altura h_2 tem-se, pelo teorema de Stevin:

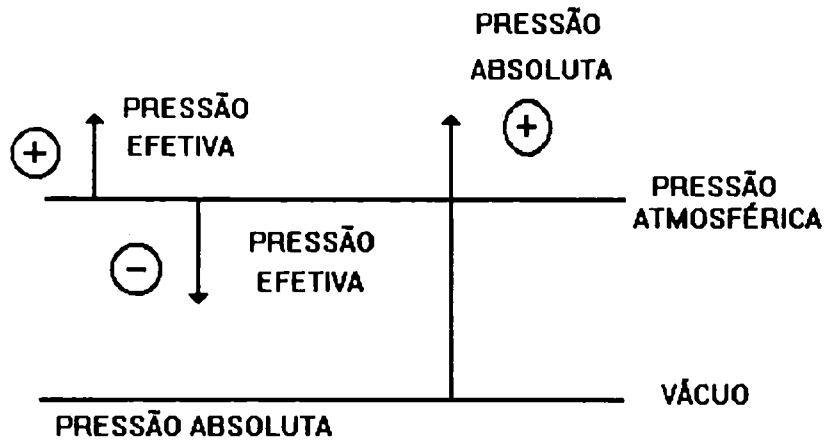
$$P_1 = h_1 \cdot \gamma \text{ e } P_2 = h_2 \cdot \gamma$$

Portanto:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{h_1}{h_2}$$

Observação: considerando γ constante com a variação da pressão.

1.5.9. - REFERENCIAL DE PRESSÃO



1.5.10. - RELAÇÃO ENTRE PRESSÃO DE VELOCIDADE E VELOCIDADE

Usando a equação de Torricelli,

$$v = \sqrt{2gh}$$

onde v é a velocidade do fluido, g é a constante gravitacional e h é a pressão de velocidade, em altura de coluna de fluido, nas condições em que o mesmo se encontra.

Em ventilação usamos P_c em altura de coluna de líquido. Convertendo a equação para

$v = \text{m/s}$ e $P_c = \text{mm CA}$ tem-se:

$$v = 4,43 \sqrt{\frac{P_c}{\rho}}$$

e para ar padrão ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), tem - se:

$$v = 4,043 \sqrt{P_c}$$

Onde:

$v = \text{m/s}$

$P_c = \text{mmCa}$

Para P_c em "CA (polegadas de coluna de água) e v em fpm (pés por minuto), tem-se:

$$v = 1096,5 \sqrt{\frac{P_c}{\rho}}$$

Para o ar padrão, ou seja, ar a 21°C e 1 atm ($\rho = 0,075 \text{ lb/pés}^3$)

$$v = 4005 \sqrt{P_c}$$

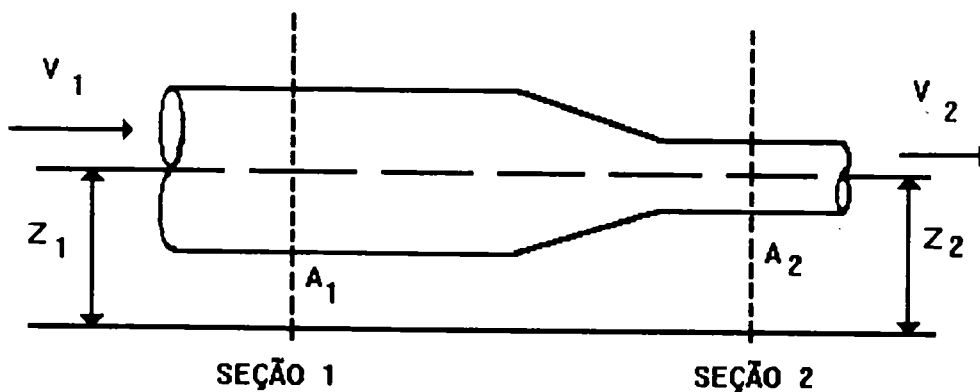
Onde:

v = FPM

P_c = "CA; ar padrão

1.5.II. - EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE (PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA MASSA)

Sejam duas secções de um duto



Se um fluido estiver escoando em regime permanente (não há entrada ou saída de fluido entre as seções) a massa na unidade de tempo é constante, ou seja, a derivada da massa na unidade de tempo é zero. Assim,

$$\frac{dm^o}{dt} = 0 \Rightarrow m^o = \text{constante}$$

Sendo:

$$m^o = \rho \cdot v \cdot A$$

Tem-se:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Admitindo fluido incompressível e não havendo variação de temperatura entre as duas seções, a densidade permanecerá constante resultando em:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

1.5.12. - EQUAÇÃO DE BERNOULLI (PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA)

Considerando duas secções (secção 1 e 2) de uma tubulação, sendo uma em cota mais elevada que a outra, tem-se:

- para fluido ideal sem fornecimento de energia:

$$P_{C1} + P_{E1} + EP_1 = P_{C2} + P_{E2} + EP_2$$

Onde:

P_c = pressão cinética

P_e = pressão estática

EP = energia potencial

ou seja, em altura de coluna de fluido:

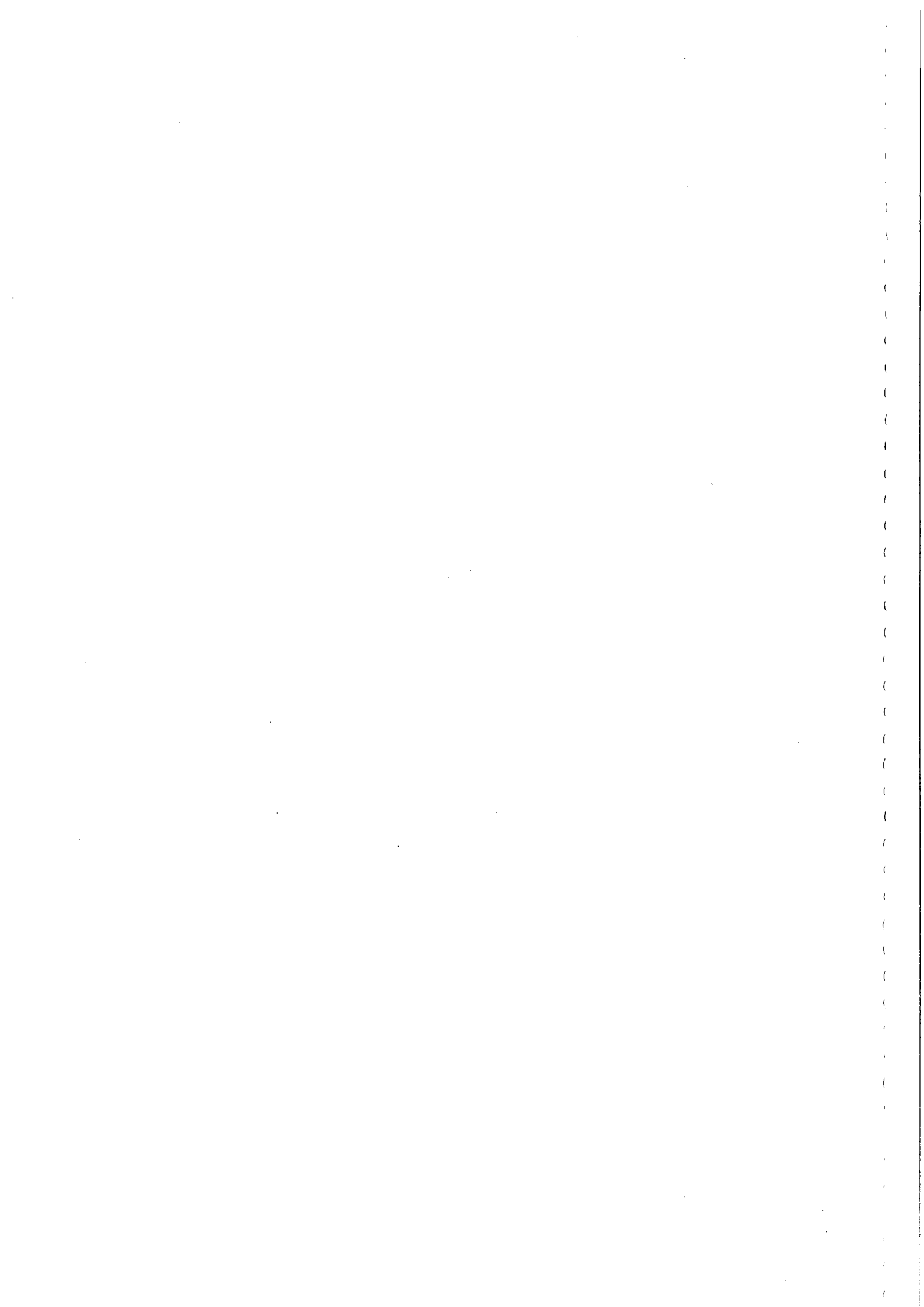
$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2$$

sendo Z a cota do local e V a velocidade média.

- para fluido real com fornecimento de energia W tem-se:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + W = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \Delta P \text{ (PERDAS)}$$

Observação: em ventilação pode-se, em muitos casos, desprezar a pressão devido à diferença de cota (z), face ao baixo peso específico do ar e às pequenas diferenças de cota que usualmente ocorrem.



CAPÍTULO 2 - TAXAS DE VENTILAÇÃO

2.1. - NECESSIDADES HUMANAS DE VENTILAÇÃO

O ser humano utiliza o ar como fonte de oxigênio, para troca térmica e como receptor dos gases da respiração, principalmente o gás carbônico da transpiração (suor) e do hábito de fumar e odores corporais em geral.

A finalidade básica de se ventilar um ambiente é a de diluir ou retirar os poluentes gerados, e controlar a temperatura interna, requisitos estes mais críticos do que substituir o oxigênio consumido. O índice de geração de gás carbônico e de calor latente depende basicamente da atividade exercida pelos ocupantes (índice metabólico).

Para o nível de atividade comum de aproximadamente 1,2 MET (Unidades Metabólicas), a taxa de ventilação de 8,5 m³/h (5 CFM) por pessoa seria suficiente para manter a concentração interna de 2500 ppm (0,25%) de CO₂ considerando-se o ar externo com cerca de 300 ppm de CO₂.

Pesquisa recente demonstrou que 25,5 m³/h (15 CFM) de ar externo por pessoa são necessários para diluir os odores corporais até um nível aceitável por 80% dos ocupantes, no momento em que chegam ao recinto.

A taxa de ventilação de 25,5 m³/h (15 CFM) de ar exterior por pessoa reduz a concentração de CO₂ interna para 0,1% (1000 ppm), para nível de atividade de 1,2 MET, valor esse tido como ideal e compatível com as recomendações tanto da Organização Mundial da Saúde - OMS, como da maioria dos países europeus e do Japão.

A taxa de ventilação de 25,5 m³/h (15 CFM) é também suficiente para controlar o odor da fumaça de cigarro em recintos onde se fuma relativamente pouco, conforme dados de Leaderer e Cain, que colocam como necessários 50m³ (1800 pé³) de ar para diluir a fumaça de um cigarro até um nível satisfatório para 70% da população recém-ingressa no recinto.

Com base nos dados acima, em 1989, a ASHRAE revisou a norma ASHRAE 62-1981R, baixando a norma ASHRAE 62-1989, sendo que a taxa mínima de renovação de ar foi elevada de 8,5 m³/h (5 CFM) por pessoa para 25,5 m³/h (15 CFM) por pessoa. Para escritório, o índice recomendado é de 34 m³/h (20 CFM) e para bares e salões para coquetéis onde há incidência maior de fumantes, a taxa de ventilação recomendada é de 60 m³/h (35 CFM) por pessoa. A Tabela 2.1. apresenta taxas de ventilação para várias aplicações, com base nesta Norma.

TABELA 2.1. - TAXAS DE VENTILAÇÃO SEGUNDO A NORMA ASHRAE Nº 62-1989

<i>Aplicações</i>		<i>Ocupação (pessoas por 100 m²)</i>	<i>m³ / hora pessoa</i>	<i>m³ / hora m²</i>
Restaurantes e Cervejarias	Salas de almoço	75	34	-
	Cafeterias e Lanchonetes	107	34	-
	Bares	170	51	-
	Cozinha (cozimento)	22	25,5	-
Escritórios	Salas de trabalho	8	34	-
	Áreas de recepção	65	25,5	-
	Salas de conferências	54	34	-
Espaços públicos	Salas de fumantes	75	102	-
	Elevadores	-	-	18,5
Lojas a varejo; andares com lojas; andares com exposições	Porões e ruas	33	-	5,5
	Andares superiores	22	-	3,7
	Corredores e galerias	22	-	3,7
	Salas de fumar	75	102	-
Esporte e lazer	Áreas dos espectadores	160	25,5	-
	Salão de jogos	75	42,5	-
	Andares de diversão	33	34	-
	Salão de danças e discotecas	107	42,5	-
Teatros	Sala de espera	160	34	-
	Auditório	160	25,5	-
Educação	Salas de aula	54	25,5	-
	Salas de música	54	25,5	-
	Biblioteca	22	25,5	-
	Auditórios	160	25,5	-
Hotéis, motéis e resorts	Quartos de dormir	-	-	51 m ³ /h/amb.
	Salas de estar	-	-	51 m ³ /h/amb.
	Salas de espera	33	25,5	-
	Salas de conferências	54	34	-
	Salas de reunião	129	25,5	-

Fonte: ASHRAE - Standard 62-1989, Ventilation for Acceptable Air Quality

Em relação ao oxigênio, a taxa mínima recomendada é de 18% para que a vida humana seja mantida sem risco algum, valor esse menos crítico que o do gás carbônico. No metabolismo basal, o consumo de oxigênio é de 240 ml/min. No caso de trabalho moderado, o consumo de oxigênio é de cerca de 2 l/min e o volume aspirado da ordem de 40 litros de ar por minuto, sendo produzidos cerca de 1,7 l de CO₂ por minuto.

A cada atividade corresponde um consumo de oxigênio. O máximo consumo é da ordem de 5 l de oxigênio por minuto. O valor médio é da ordem de 3 l/min. O calor produzido pelo metabolismo pode ser estimado considerando-se 5 kcal para cada litro de oxigênio consumido. A Tabela 2.2 mostra valores do calor liberado pelas pessoas em vários tipos de atividades. Deve-se ressaltar que o calor metabólico se divide em calor sensível e calor latente, dado esse importantíssimo para o cálculo das necessidades de ventilação de ambientes para fins de conforto térmico.

Para projetos de ventilação geral devem ser utilizadas as taxas de ventilação recomendadas por fontes confiáveis quando não for possível o cálculo para o caso específico. A Tabela 2.2 mostra valores típicos recomendados pela ASHRAE, para controle de odores. A norma NBR 6401/80 apresenta taxas de ar exterior para renovação, baseados em dados da ASHRAE.

TABELA 2.2. - CALOR METABÓLICO (KCAL/HORA)			
<i>Atividade</i>	<i>Calor metabólico</i>	<i>Calor sensível</i>	<i>Calor latente</i>
Basal	73	36,5	36,5
Sentado, em repouso	97	57	40
De pé, lendo em repouso	109	57	52
Cantando	123	57	66
Empregado de escritório	124	57	67
De pé, em trabalho leve	139	57	82
Datilografando com rapidez	141	57	84
Lavando pratos	151	57	94
Balconista em pé	151	57	94
Confecção de calçados	166	57	109
Jogando bilhar	171	58	113
Trabalho leve em bancada	213	70	147
Garçom	251	82	169
Andando, 4,8 km/hora	263	85	178
Andando, 6,4 km/hora	348	113	235
Pedreiro	374	122	252
Jogando boliche	376	123	253
Serrando madeira	451	148	303

Fonte: R. JORGENSEN, Fan Engineering

2.2. - TAXA DE VENTILAÇÃO PARA RETIRADA DE CALOR

2.2.1. - CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO

As condições de conforto térmico ou de sobrecarga térmica de um ambiente estão relacionadas às condições atuais de temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU), umidade relativa (UR), calor radiante ou temperatura de globo (TG) e velocidade do ar.

A norma NBR 6401/80 da ABNT estabelece condições recomendáveis e máximas para ambientes não industriais. Assim, para residências, hotéis, escritórios e escolas tem-se as seguintes condições para conforto:

- **Recomendável:** TBS (°C): 23 a 25 e U . R (%): 40 a 60
- **Máxima:** TBS (°C): 26,5 U . R (%): 65

Os efeitos do calor sobre o ser humano vão desde os psicológicos (desconforto, irritação, absenteísmo e eficiência reduzida para trabalhar mentalmente) até os fisiológicos (desbalanceamento do conteúdo de água e sal, alterações no sistema circulatório, capacidade de trabalho reduzida e exaustão aguda), passando pelos efeitos psicofisiológicos (aumento de erros, eficiência reduzida para trabalhos especializados e aumento de acidentes).

Para que haja equilíbrio do organismo é necessário que o calor ganho pelo corpo seja igual ao calor perdido para o ambiente. Os fatores que afetam o balanço de energia estão mostrados na Tabela 2.3.

TABELA 2.3. - FATORES QUE AFETAM O BALANÇO TÉRMICO CORPORAL

<i>Via</i>	<i>Fatores ambientais</i>	<i>Fatores pessoais</i>
Metabolismo	<ul style="list-style-type: none">• Pouco efeito	<ul style="list-style-type: none">• Atividade; peso• Área superficial• Idade; sexo
Evaporação (E)	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de bulbo úmido• Temperatura de bulbo seco• Velocidade do ar	<ul style="list-style-type: none">• Habilidade de suar• Área superficial• Vestimenta
Radiação (R)	<ul style="list-style-type: none">• Diferença de temperatura entre corpos• Emissividade das superfícies	<ul style="list-style-type: none">• Área superficial• Vestimenta
Convecção (C)	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de bulbo seco• Velocidade do ar	<ul style="list-style-type: none">• Vestimenta; temperatura média da superfície corporal; área superficial

Os mecanismos de troca de calor entre o homem e o ambiente são:

- ganho de calor por metabolismo;

- ganho ou perda por condução-convecção;
- ganho ou perda por radiação;
- perda por sudção e evaporação.

A máxima quantidade de calor que o organismo pode perder por evaporação é 600 kcal/h, correspondentes à sudção máxima de 1 litro de água por hora, num ambiente com umidade relativa baixa o suficiente para receber esta quantidade de vapor.

A velocidade do ar é importante tanto na troca de calor por condução-convecção como na troca por evaporação. A seguir, são exemplificados os índices de carga térmica usuais.

- **Temperatura Efetiva (TE):** Tem como base o inter-relacionamento entre temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade do ar e equivale à mesma sensação de calor de um ambiente com ar parado, saturado de umidade e com temperatura igual a TE. Como crítica a este índice, tem-se que o mesmo superestima a umidade a temperaturas normais e baixas, subestima a umidade a temperaturas elevadas e omite o calor radiante. Os ábacos das Figuras 2.1 e 2.2 são utilizados para determinar a temperatura efetiva.
- **Temperatura Efetiva Corrigida (TEC):** Este índice inclui o efeito do calor radiante medido através do termômetro de globo, que é constituído de uma esfera oca de cobre de 15 cm de diâmetro e 1 mm de espessura pintada externamente de preto fosco e provida de um termômetro cujo bulbo deve localizar-se no centro da esfera. Este aparelho deve ser montado no local de medição, sem contato direto com o suporte, a fim de evitar perda por condução.

A leitura obtida após 30 minutos de estabilização da temperatura é denominada temperatura de globo (TG). Para determinar a temperatura efetiva corrigida (TEC), deve-se primeiro determinar a umidade absoluta do ambiente através das temperaturas de bulbo seco e bulbo verdadeiras e, em seguida utilizando a temperatura de globo como temperatura de bulbo seco, para a mesma condição de umidade determinada acima, determinar a pseudo-temperatura de bulbo úmido (TBU pseudo) correspondente a TG. Determina-se então a TEC com TG e TBU (pseudo).

Condições máximas toleradas estão exemplificadas na Tabela 2.5 com base na temperatura efetiva corrigida.

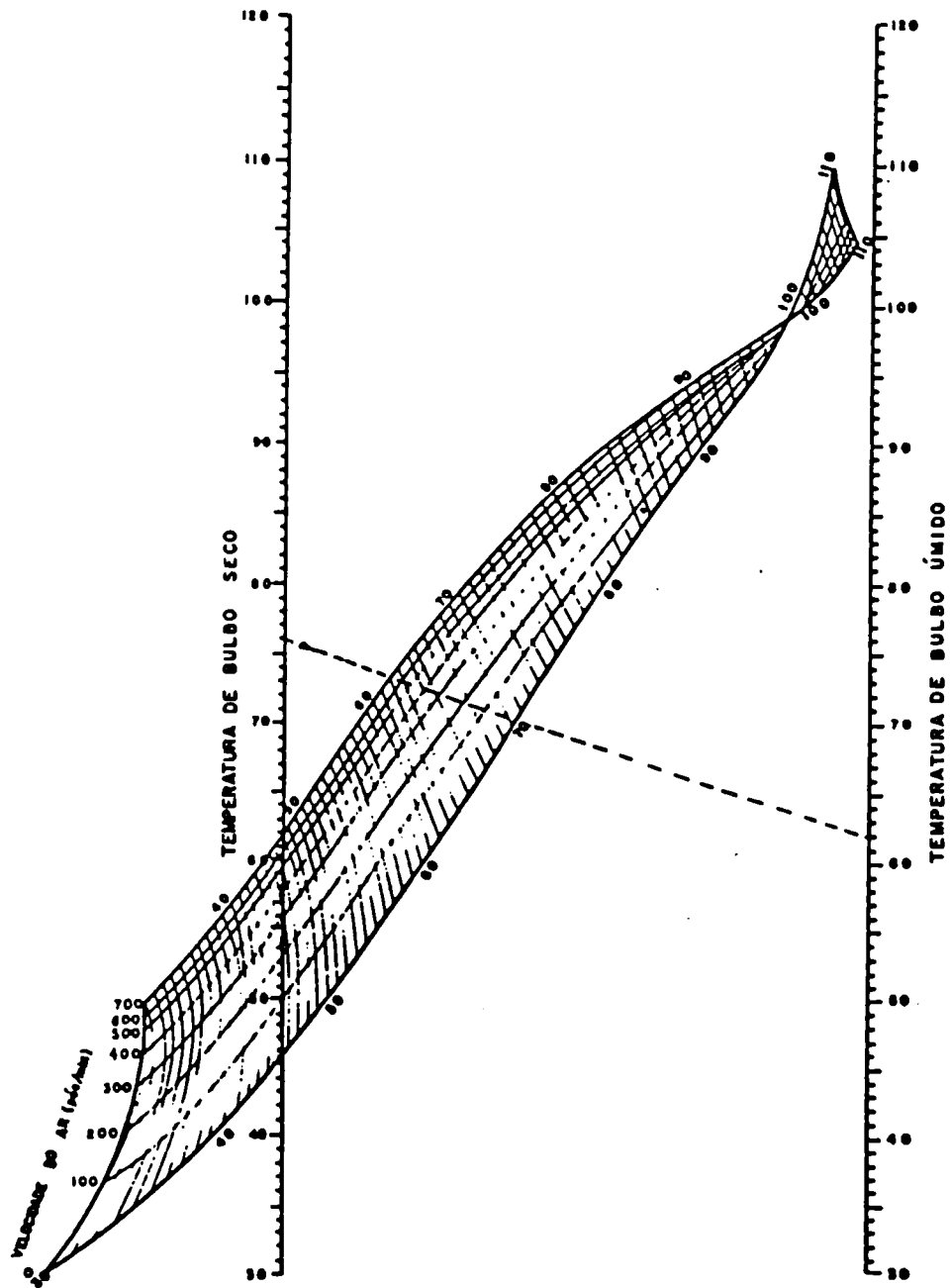


Figura 2.1 - Ábaco de determinação da temperatura efetiva para pessoas em repouso ou em atividade leve e com vestimentas normais.

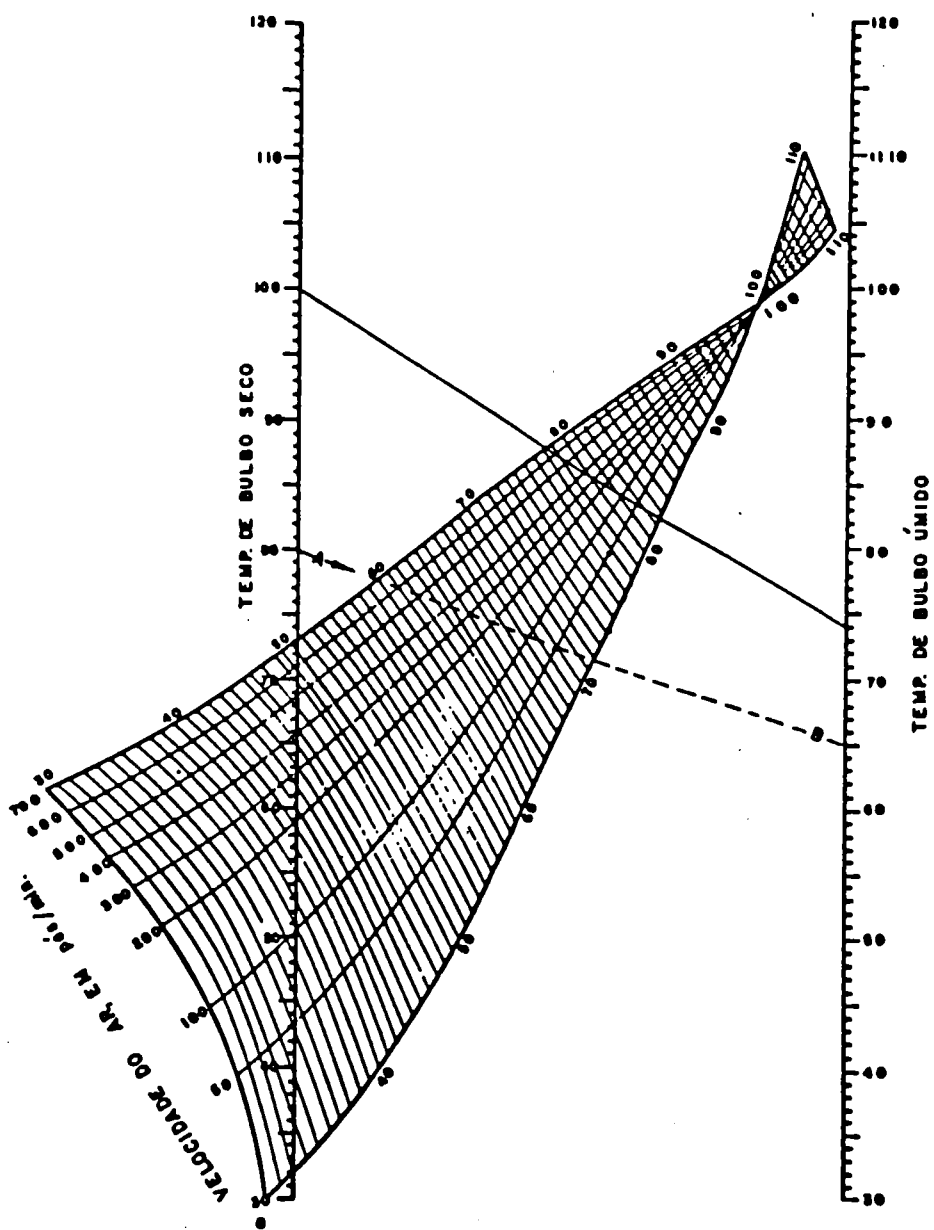


Figura 2.2. - Ábaco para determinação da temperatura efetiva para homens nus da cintura para cima

- **Índice de Bulbo úmido - Termômetro de Globo (IBUTG):** Este índice leva em consideração os principais fatores intervenientes na troca térmica homem-ambiente e é o índice legal estabelecido pela portaria número 3214 de 8 de junho de 1978, do Ministério do trabalho. O IBUTG é calculado pelas seguintes fórmulas:

- *para ambientes externos ou internos, sem carga solar:* $IBUTG = 0,7 TBN + 0,3 TG$

- *para ambientes externos com carga solar:* $IBUTG = 0,7 TBN + 0,2 TG + 0,1 TBS$

Onde TBN é a temperatura obtida através do termômetro de bulbo úmido natural, conforme mostrado na Figura 2.3.

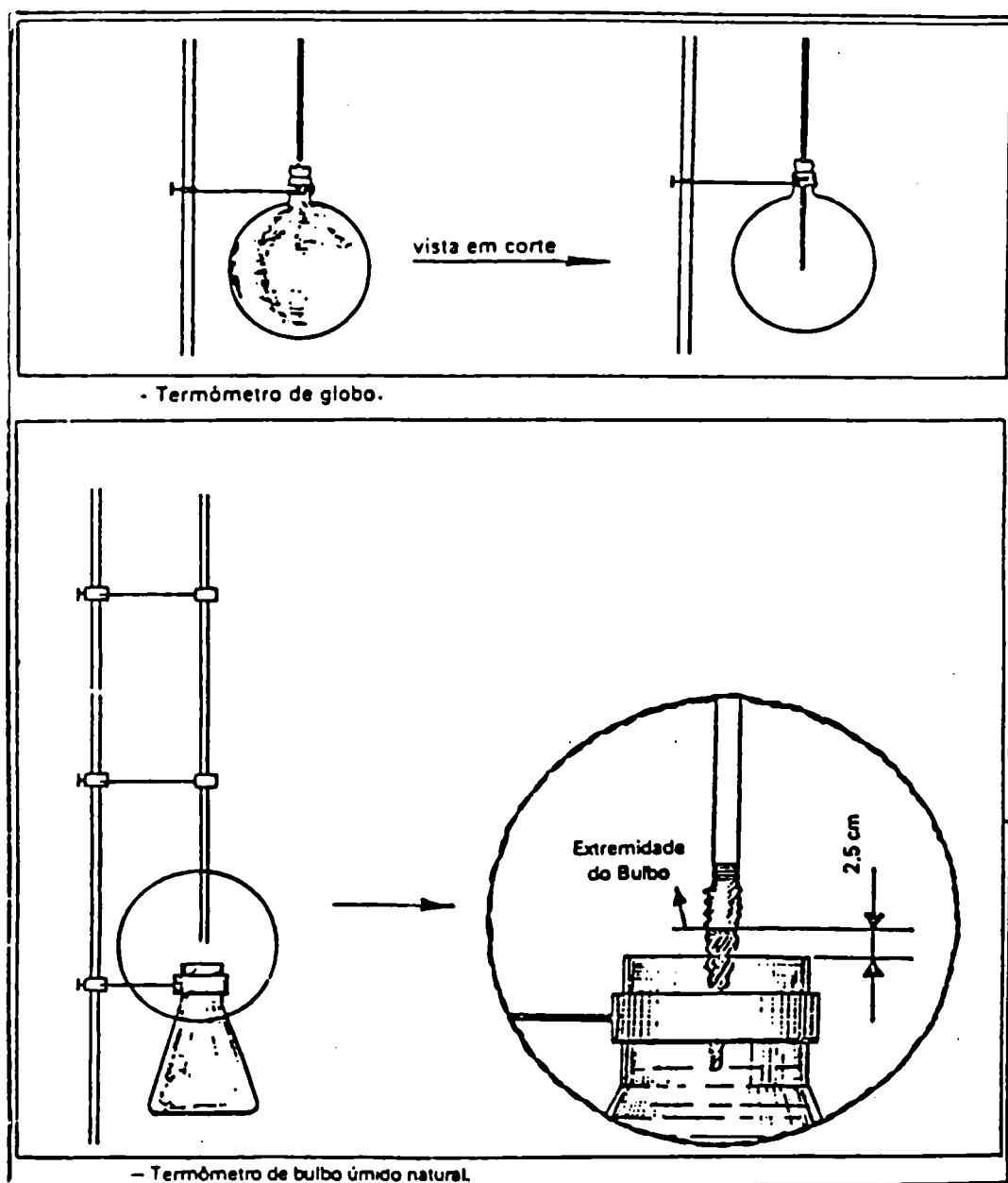


Figura 2.3 - Termômetro de globo e termômetro de bulbo úmido natural

Os valores de IBUTG permitidos pela legislação brasileira estão mostrados na Tabela 2.4.

TABELA 2.4. - VALORES DE IBUTG PERMITIDOS SEGUNDO A PORTARIA 3214/78 (°C)			
Regime de trabalho (cada hora)	Carga da atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	30,0	26,7	25,0
75% - Trabalho 25% - Descanso	30,6	28,0	25,9
50% - Trabalho 50% - Descanso	31,4	29,4	27,9
25% - Trabalho 75% - Descanso	32,2	31,1	30,0

Observações:

- maior exposição ao calor do que o da tabela é permitida se estiver sob supervisão médica e se o trabalhador é mais tolerante ao calor que a média;
- o trabalhador não deve continuar a realizar a atividade se a temperatura central do corpo exceder 38°C.

2.2.2. - VELOCIDADE DO AR PARA RETIRADA DE CALOR

Velocidade do ar é um fator importante na troca de calor entre o corpo e o ar. Em temperatura de bulbo seco ou de bulbo úmido inferior a 36 - 37°C, o ser humano pode ser resfriado por convecção - evaporação. O ar com temperatura acima da temperatura corporal normal ocasionará aumento da temperatura corporal se o calor ganho não puder ser perdido por evaporação do suor. Para a obtenção de bons resultados práticos, a temperatura do ar a ser utilizado para troca de calor com o corpo não deveria exceder a 27°C. O ar a altas velocidades pode ser utilizado para alívio de carga térmica diretamente sobre o trabalhador.

A Tabela 2.7. mostra valores de velocidade do ar recomendadas para várias situações.

TABELA 2.5. - VELOCIDADES DO AR ACEITÁVEIS SOBRE O TRABALHADOR	
<i>Condição</i>	<i>Velocidade do ar</i>
1. Exposição contínua	
• Espaço com ar condicionado	0,25 - 0,40
• Local do trabalho fixo com ventilação geral ou sopro sobre o trabalhador:	
• sentado	0,40 - 0,65
• em pé	0,50 - 1,00
2. Exposição intermitente	
Sopro sobre o trabalhador	
• Carga térmica e atividade leve	5,0 - 10,0
• Carga térmica e atividade moderada	10,0 - 15,0
• Carga térmica e atividade pesada	15,0 - 20,0

Atenção: valores acima de 5,0 m/s podem ocasionar influências negativas em sistemas de ventilação local exaustora próximos às áreas de sopro.

CONTROLE DE CALOR RADIANTE

O uso da ventilação para controle de calor só é recomendado para casos onde a temperatura de globo não exceda em mais do que 10 graus centígrados a temperatura de bulbo seco. Para casos acima desse limite, devem ser providos anteparos ou outros meios para controle do calor radiante.

2.2.3. - CARGA TÉRMICA

Carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente que, no caso de ventilação, deve ser retirada do ambiente de forma a promover as condições de conforto desejadas.

O ambiente recebe calor via insolação direta e transmissão por paredes e tetos e via fontes internas de calor como máquinas, aparelhos, iluminação, fornos, calor metabólico, etc. A norma NBR 6401/80 fornece valores de carga térmica para vários tipos de fontes de calor.

O calor é transmitido por condução, convecção e radiação. O calor sensível é aquele que altera a temperatura do corpo que está cedendo ou recebendo o calor, ao passo que o calor latente se refere ao calor na mudança de estado. Assim, o calor latente no caso de ventilação está relacionado ao vapor de água adicionado ou retirado do ar.

O calor latente de vaporização da água para condições usuais de pressão e temperatura é de 583 kcal/kg água (1050 Btu/lb).

A quantidade de calor sensível transmitido através de uma determinada superfície, entre dois fluidos pode ser estimado por:

$$H = A \cdot U \cdot \Delta t$$

Onde:

H = fluxo de calor, kcal/h

A = Área da superfície, m²

U = Coeficiente global de transmissão de calor kcal/h . m² . °C

Δt = diferença de temperatura entre as duas faces da superfície.

O coeficiente global de transmissão de calor (U) é o recíproco da resistividade térmica global (R). Se não estiver disponível U ou R, o seu valor pode ser obtido através do valor de cada camada que compõe a superfície considerando-se, inclusive, a camada de ar externa e interna através de:

$$U = \frac{1}{R} \text{ e } R = R_{\text{SEXT}} + R_1 + R_{\text{SINT}}$$

sendo R_{SEXT} e R_{SINT} referente às camadas de ar externo e interno, respectivamente e R_i referente às diversas camadas da superfície.

A quantidade de calor solar introduzida no ambiente através do teto, paredes e janelas dependerá principalmente dos seguintes fatores:

- coordenadas geográficas do local
- inclinação dos raios solares (depende da época do ano e da hora)
- tipo e espessura do material de construção
- cor e rugosidade da superfície
- posição da superfície (horizontal, vertical, etc.)
- temperatura ambiente

No hemisfério sul, nos meses de verão, a parede que recebe maior insolação é aquela voltada para oeste por volta das 16 horas e para as clarabóias (teto de vidro), a maior insolação ocorre ao meio-dia.

O cálculo da carga térmica proveniente do calor solar é complexo e o seu conhecimento preciso é praticamente impossível, tendo em vista fatores envolvidos como velocidade dos ventos, nebulosidade, sombra de árvores, latitude, longitude, altitude e relevo local. A estimativa da carga solar é, em geral, feita com base em condições de céu claro, tempo quente, máxima radiação solar e são apresentados como dados práticos, em função da posição da superfície do material de construção, horário e outras condições específicas.

2.2.4. - CÁLCULO DA TAXA DE VENTILAÇÃO PARA RETIRADA DE CALOR

Conhecida a carga térmica do ambiente, fixadas as condições desejadas no mesmo (temperatura e umidade) e conhecidas as condições do ar externo (temperatura e umidade), pode-se determinar a taxa de ventilação (vazão de ar) para esse ambiente. No caso de calor sensível tem-se:

$$H_s = m C_p (t_e - t_i) = \rho Q C_p (t_e - t_i)$$

ou seja

$$Q_s = \frac{H_s}{\rho C_p (t_e - t_i)}$$

Em unidades métricas com

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3 \text{ e } C_p = 0,24 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

tem-se:

$$Q_s (\text{m}^3 / \text{h}) = \frac{H_s (\text{kcal} / \text{h})}{0,29 \times \Delta t (^\circ\text{C})}$$

Em unidades inglesas, com

$$\rho = 0,075 \frac{\text{lb}}{\text{pe}^3} \text{ e } C_p = 0,24 \frac{\text{Btu}}{\text{lb } ^\circ\text{F}}$$

tem-se:

$$Q_s (\text{cfm}) = \frac{H_s (\text{Btu} / \text{min})}{0,018 \times \Delta t (^\circ\text{F})}$$

ou usualmente:

$$Q_s (\text{cfm}) = \frac{H_s (\text{Btu} / \text{hora})}{1,08 \times \Delta t (^\circ\text{F})}$$

Para o controle de calor latente, a taxa de ventilação (Q_L) é dada por:

$$Q_L = \frac{H_L}{H_v \times \rho \times (U_e - U_i)}$$

Onde:

H_L = calor latente introduzido no ambiente

H_v = calor latente de vaporização específico da água

ρ = densidade do ar

U_e = umidade absoluta do ar externo

U_i = umidade absoluta do ar interno

Para unidades métricas e nas condições usuais de pressão e temperatura, tem-se:

$$Q_L \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{H_L \text{ (kcal / hora)}}{583 \times 1,2 \times \Delta U \text{ (kg \u00e1gua / kg ar seco)}}$$

$$Q_L \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{H_L \text{ (kcal / hora)}}{700 \times \Delta U \text{ (kg \u00e1gua / kg ar seco)}}$$

Nas unidades inglesas, tem-se:

$$Q_L \text{ (cfm)} = \frac{H \text{ (Btu / hora)}}{0,67 \times \Delta U \text{ (gr\u00e3os de \u00e1gua / lb de ar seco)}}$$

As umidades absolutas podem ser obtidas da carta psicrom\u00e9trica do ar \u00famido.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

CAPÍTULO 3 - VENTILAÇÃO GERAL

3.1. - VENTILAÇÃO GERAL NATURAL

A ventilação geral é aquela que ventila o ambiente como um todo e não locais especificados. É, em geral, utilizada para auxiliar na promoção do controle térmico de ambiente (retirada de calor) ou para diluição de substâncias nocivas ou incômodas (fumaça de cigarro, odor corporal, gases e vapores em geral), bem como para o controle da concentração de substâncias explosivas ou inflamáveis.

A Ventilação Geral Natural utiliza as forças existentes para a movimentação do ar para ventilar o ambiente. Essas forças são o vento e a diferença de temperatura entre duas camadas de ar (efeito chaminé).

Essa movimentação de ar pelas forças disponíveis ocasionará então uma determinada vazão de ar (vazão disponível) que deverá ser confirmada com a vazão de ar necessária para o controle das condições do ambiente (vazão requerida).

3.1.1. - VAZÃO DEVIDA AOS VENTOS

Consideremos uma determinada massa de ar movimentada pela ação dos ventos e incidindo sobre uma abertura (janela, por exemplo) em uma edificação, que contém também abertura para saída de ar. Esse ar com uma certa velocidade ocasiona uma vazão através dessa abertura, que pode ser calculada por:

$$Q_v = C_e \times A \times V$$

Onde:

Q_v = vazão disponível devida aos ventos

C_e = Coeficiente de entrada (efetividade) da abertura

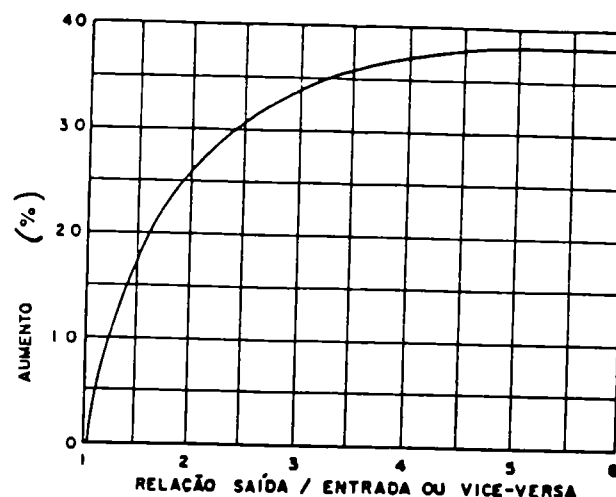
A = Área da abertura

V = velocidade do ar incidindo na abertura

Considera-se que as aberturas de entrada são de área igual às aberturas de saída. Caso sejam diferentes, deve-se calcular para a menor área disponível (de entrada ou de saída) e corrigir para abertura com áreas desiguais, através do gráfico da Figura 3.1.

$$Q_v \text{ (corrigido)} = Q_v + y \times \frac{Q_v}{100}$$

sendo y o aumento de vazão, em porcentagem, obtido do gráfico apresentado a seguir:



Os coeficientes de entrada (efetividade) das aberturas variam de 0,5 a 0,6 e de 0,25 a 0,35 para ventos perpendiculares e diagonalmente à abertura, respectivamente.

A velocidade do ar a ser adotada dependerá da velocidade do vento na região onde será implantada a edificação, recomendando-se utilizar velocidade igual à metade da velocidade média para o período mais desfavorável.

Deve-se ressaltar que a velocidade do vento para um determinado local sofre influência da presença de outras estruturas no seu entorno, da presença de árvores, bem como da topografia local que pode agir como barreira para uma boa movimentação do ar. Essas interferências e a dependência de condições meteorológicas sobre as quais não se tem controle, mostram que a vazão calculada poderá diferir bastante da vazão real. Contudo, deve-se procurar utilizar essa força natural sempre que possível, considerando-se o seu baixo custo.

A localização das aberturas deve seguir a seguinte orientação:

- as aberturas de entrada deverão ser bem distribuídas e deverão estar localizadas na face voltada para o vento, próximas à parte inferior do edifício.
- as aberturas de saída deverão estar localizadas na parte superior, na face não voltada para o vento. No caso de não haver fontes significativas de calor dentro do ambiente, as entradas e saídas de ar poderão estar à mesma altura, mas não muito distantes do topo para prover ar na região em que as pessoas normalmente permanecem.
- a maior vazão por unidade de área de abertura é conseguida para abertura de entrada e saída com áreas iguais.
- para aproveitar o efeito chaminé localize as aberturas de saída na cota mais alta possível em relação às aberturas de entrada.

As aberturas de entrada não deverão ser obstruídas por edificações, árvores, placas, bem como estruturas internas.

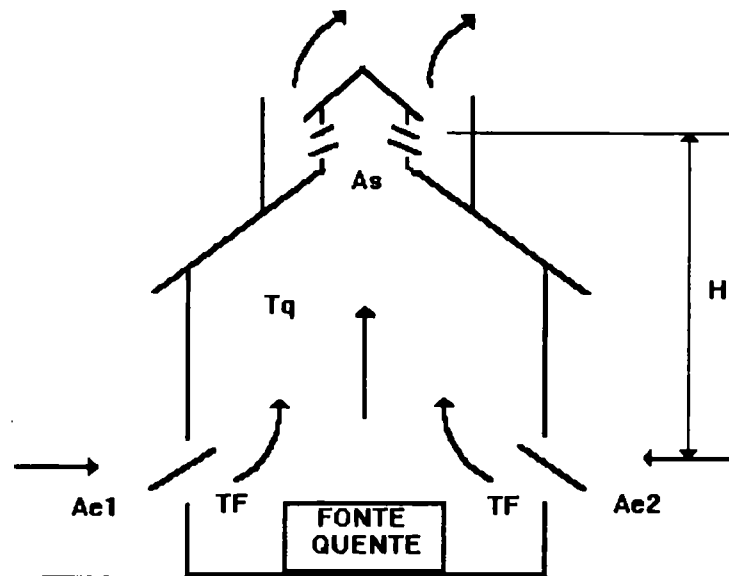
Quando a direção e o sentido do vento for muito variável, deverão ser providas aberturas reguláveis em todas as faces de forma a aproveitar a força do vento em qualquer direção em que o mesmo sopra.

A infiltração é um processo não controlado e que ocorre mesmo quando as entradas e saídas normais estão fechadas, pois há sempre alguma abertura para a passagem do ar por frestas de janelas e portas mal ajustadas, por trincas nas paredes, etc.

No caso de projetos de ar condicionado é importante considerar o ar infiltrado na carga térmica. Em ventilação pode-se assumir que essa vazão adicional irá acrescentar um fator de segurança na vazão calculada. A taxa de infiltração pode ser estimada por dados práticos existentes na literatura, como por exemplo as do FAN ENGINEERING que mostram a taxa de infiltração em função da velocidade do vento. A NBR 6401/80 também apresenta estimativas de taxas de infiltração.

3.1.2. - VAZÃO DEVIDA AO EFEITO TÉRMICO

Num ambiente com ar mais quente que o externo ocorre a movimentação ascensional do ar decorrente do gradiente de temperatura nas várias camadas internas ao ambiente. Considere por exemplo a figura abaixo:



O gradiente de pressão devido às diferenças de temperatura é dada por:

$$\Delta P = H (\gamma_r - \gamma_Q)$$

Sendo:

ΔP = diferencial de pressão devido ao gradiente térmico

H = altura da coluna de ar quente

γ_r = peso específico do ar frio

γ_Q = peso específico do ar quente

Esse gradiente de pressão quando expresso em altura de coluna de ar (h_Q) é dado por:

$$h_Q = H \left(\frac{t_Q - t_r}{t_Q} \right) = \frac{H \cdot \Delta t}{t_Q}$$

onde t_Q e t_r são as temperaturas absolutas do ar quente e frio, respectivamente.

A pressão ascensional é estabelecida em termos de pressão cinética, ou seja, velocidade, a qual é expressa por:

$$v = k \sqrt{2 g h}$$

onde k é um coeficiente que expressa a resistência à passagem do ar. Assim, a velocidade ascensional do ar em unidades métricas será:

$$v = k \sqrt{2 \times 9,8 \times H \times \frac{\Delta t}{t_Q}}$$

$$v = 4,43 k \sqrt{H \times \frac{\Delta t}{t_Q}}$$

em unidades inglesas, tem-se:

$$v = 8,02 k \sqrt{H \times \frac{\Delta t}{t_Q}}$$

Para T_Q na faixa usual (300 a 400 K), $k = 0,5$ e v expresso em m/h tem-se:

$$v \text{ (m/h)} = 4,43 \times 3600 \times 0,5 \times 0,054 \times \sqrt{H \times \Delta t} = 430 \times \sqrt{H \times \Delta t}$$

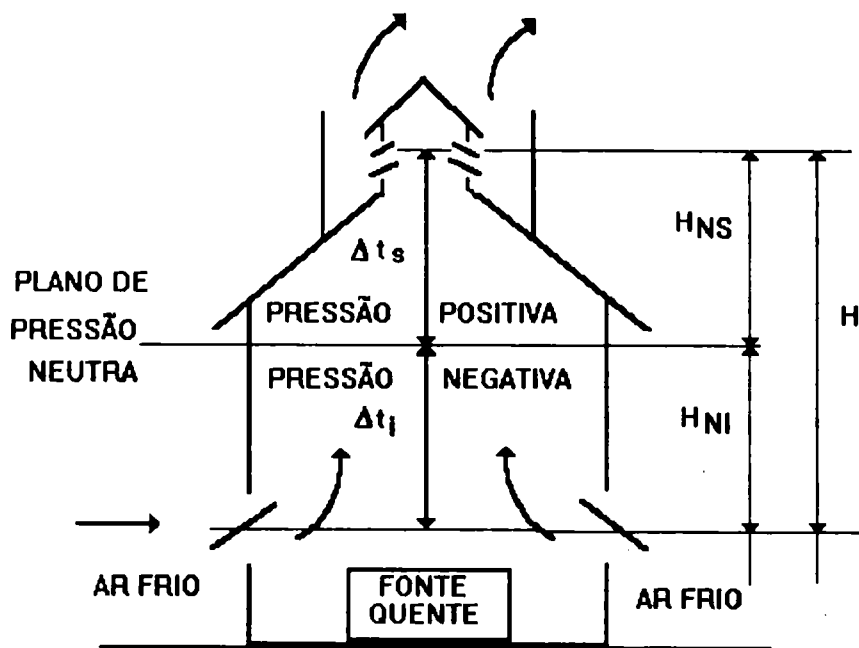
A vazão de ar nessas condições para área de abertura A será dada por:

$$Q \text{ (m}^3 \text{/h)} = 430 \times A \text{ (m}^2\text{)} \times \sqrt{H \text{ (m)} \times \Delta t \text{ (}^\circ\text{C)}}$$

Na aplicação da fórmula anterior, alguns autores adotam H como sendo a diferença de cota entre as aberturas de saída e de entrada e o Δt referente à temperatura média interna e a temperatura externa ($\Delta t = t_{i \text{ média}} - t_e$).

Na prática, ocorre pressão negativa desde a entrada até uma certa altura H_N , fazendo com que o ar penetre no ambiente, e a partir desta altura a pressão interna torna-se positiva (maior que a externa) fazendo com que o ar saia pela parte superior.

O plano referente a H_N é denominado "plano de pressão neutra", conforme mostrado na figura abaixo. Com base neste fato, outros autores preferem usar a fórmula desenvolvida a seguir:



Para este caso, tem-se:

$$Q = 430 \times A_i \sqrt{H_{NI} (\Delta t)_i} = 430 \times A_s \sqrt{H_{NS} (\Delta t)_s}$$

Sendo $H_{NI} = H - H_{NS}$, tem-se:

$$H_{NS} = \frac{H \left(\frac{A_i}{A_s} \right)^2 \times \frac{(\Delta t)_i}{(\Delta t)_s}}{1 + \left(\frac{A_i}{A_s} \right)^2 \times \frac{(\Delta t)_i}{(\Delta t)_s}}$$

Assim, a fórmula final geral para cálculo da vazão devido a gradientes de temperatura será:

$$Q_T \text{ (m}^3 \text{ / h)} = 15948 \times k \times A_S \text{ (m}^2) \sqrt{\frac{H \text{ (m)} \Delta t_s \text{ (}^\circ\text{C)}}{t_s \text{ (K)}}$$

sendo k, em geral, 0,5 ou 0,6 H_{NS} obtido da fórmula anterior.

3.1.3. - VAZÃO COMBINADA: VENTO E TEMPERATURA

Quando ocorrem simultaneamente a ação do vento e da diferença de temperatura, a vazão total resultante na abertura será:

$$Q_{vr} = \sqrt{Q_v^2 + Q_r^2}$$

3.2. - VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA

3.2.1. - USOS, VANTAGENS E DESVANTAGENS

A ventilação geral diluidora (VGD) é a ventilação geral mecânica utilizada para diluição de substâncias emitidas no ambiente com a finalidade de proteção à saúde dos ocupantes do recinto, redução de incômodos e de riscos de explosão e incêndio.

A ventilação geral diluidora é usualmente utilizada nas seguintes condições:

- o poluente emitido está presente em concentrações que podem ser diluídas com quantidades aceitáveis de ar, tendo em vista o custo de movimentação de grandes volumes de ar;
- deve existir boa distância entre a fonte e os usuários do recinto de forma a permitir a diluição nesta distância;
- a toxicidade dos poluentes não deve ser muito alta tendo em vista a possibilidade de ocorrência de concentrações mais altas que as permitidas, considerando-se a efetividade da diluição no recinto, o que representa um risco à saúde do usuário. É recomendado utilizar a VGD para substâncias com TLV a partir de 100 ppm;
- geração do poluente relativamente uniforme de forma a evitar o superdimensionamento para suportar os picos de geração;
- as fontes estão dispersas no ambiente dificultando a utilização de ventilação local exaustora.

A ventilação geral, em relação à ventilação local exaustora tem a vantagem de não interferir com os processos e operações que estejam sendo realizados. Contudo, não deve ser utilizada para substâncias altamente tóxicas, pois movimenta maiores volumes de ar e não retira totalmente o poluente.

Apresenta dificuldade de utilização quando o ar deve ser filtrado antes do seu lançamento na atmosfera para atender normas de controle de poluição do ar, devido aos grandes volumes de ar movimentados. Além disso, não se recomenda o seu uso para diluição de poluentes na forma de partículas.

3.2.2. - TAXA DE VENTILAÇÃO PARA CONFORTO E SAÚDE

A taxa de ventilação necessária (Q_N) é a vazão de ar a ser insuflada no ambiente. No caso de ambientes não industriais muitas vezes se tem recomendações da taxa de ventilação por ocupante ou número de trocas de ar por unidade de tempo, conforme já discutido no capítulo VI. Neste caso, a vazão total de ar necessária pode ser calculada por:

$$Q_N = (\text{número de ocupantes}) \times (\text{vazão por ocupante})$$

ou

$$Q_N = (\text{volume do ambiente}) \times (\text{número de trocas de ar recomendado})$$

Quando a geração de poluentes no ambiente pode ser quantificada e qualificada, a taxa de ventilação para gases e vapores pode então ser calculada por:

$$Q = \frac{G}{M} \times 24,1 \times \frac{10^6}{LT} \times K$$

Sendo:

Q = Vazão de ar necessária à diluição (m³/h)

G = Taxa de geração do poluente (kg/h)

M = Massa molecular do poluente (kg/kg . mol)

24,1 = Volume em m³ ocupado por 1 kg mol de qualquer gás a 21°C e 1 atm.

LT = Limite de Tolerância do poluente considerado (ppm)

10⁶ = Fator de conversão do LT de ppm para partes por partes

K = Fator de efetividade da distribuição do ar. Em geral, varia de 1,5 a 10 (vide Tabela 3.1)

Em unidades inglesas, a fórmula acima se converte em:

$$Q = \frac{G}{M} \times 387 \times \frac{10^6}{LT} \times K$$

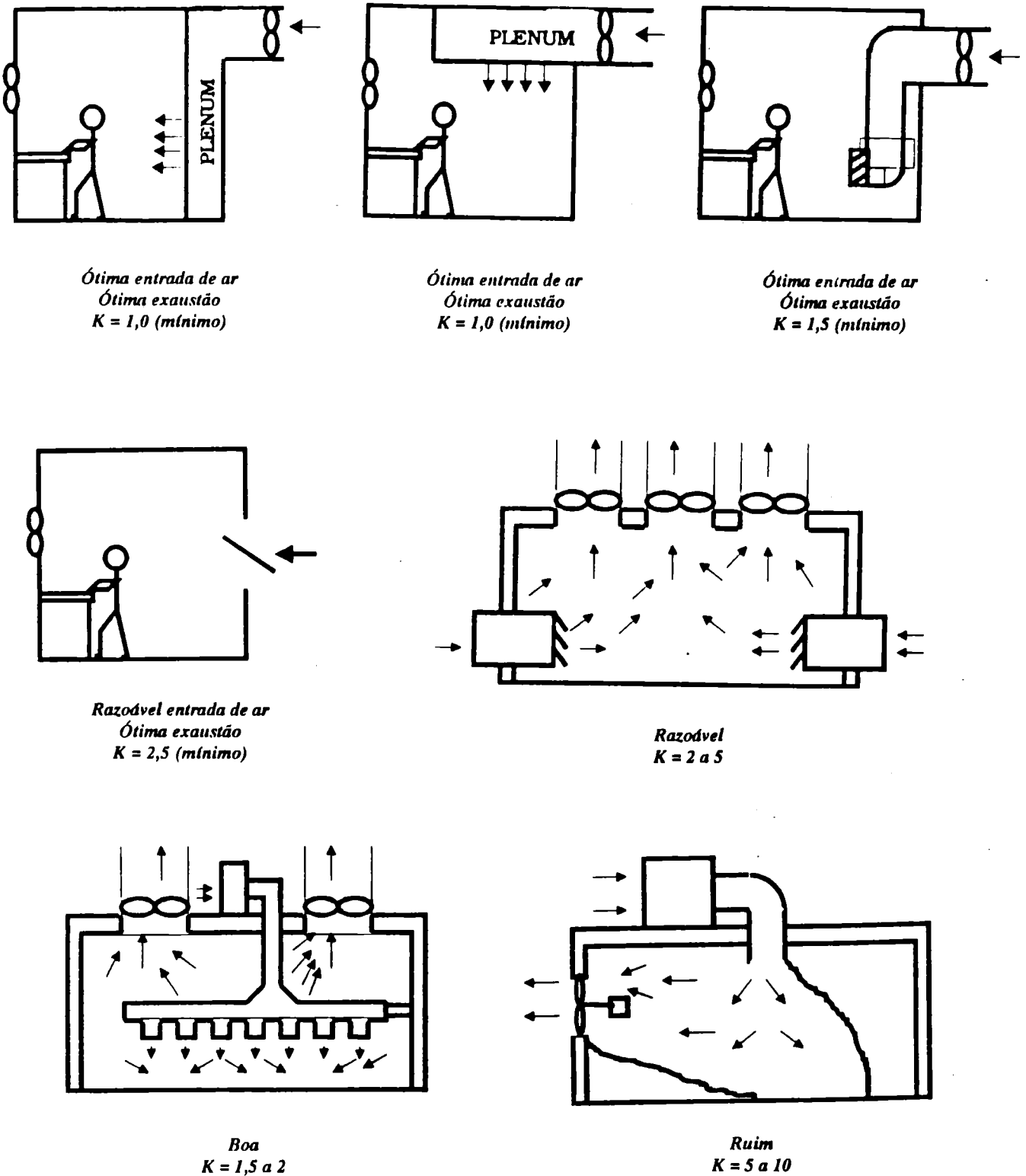
sendo Q em pés³/min.; G em lb/min. e M em lb/lbmol.

TABELA 3.1 FATOR DE EFETIVIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DO AR (VALOR K)

<i>Tipo de entrada e/ou saída do ar</i>	<i>Altamente Tóxico (LT < 100 ppm)</i>	<i>Moderadamente Tóxico (100 <LT <500 ppm)</i>	<i>Levemente Tóxico (LT > 500 ppm)</i>
Entrada de ar por teto perfurado	Não se recomenda o uso de VGD	3	1,5
Entrada de ar por bons difusores	Não se recomenda o uso de VGD	3 a 6	2 a 3
Entrada de ar por aberturas normais existentes e saída por exaustores de parede	Não se recomenda o uso de VGD	6 a 10	3 a 6

A Figura 3.1 mostra a qualidade da distribuição do ar no ambiente em função das condições de entrada e saída do ar e da localização da fonte de emissão de poluentes.

Figura 3.1. - Valores do fator "K" sugeridos em função das localizações de entrada e de exaustão



Nota: Os valores de "K" acima consideram apenas as localizações das entradas e das exaustões. Para

selecionar o fator K a ser utilizado na equação, devem ser considerados também o número e localização dos empregados, a fonte de emissão e a toxicidade do poluente.

Fonte: ACGIH - Industrial Ventilation, 1988.

3.2.3. - TAXA DE VENTILAÇÃO PARA MISTURA DE POLUENTES

Em muitos casos práticos ocorre emissão de vários poluentes ao mesmo tempo num mesmo ambiente. Quando dois ou mais poluentes estão presentes, o efeito combinado deve ser considerado.

O efeito sinérgico ou potenciação pode ocorrer com várias combinações de poluentes, devendo ser estudado caso a caso. Como regra geral, na ausência de informações específicas, deve-se levar em consideração a possibilidade de ocorrência de efeitos aditivos em misturas de poluentes. Quando houver informações suficientes para caracterizar a ocorrência somente dos efeitos individuais de cada substância, pode-se então calcular a taxa de ventilação para efeitos independentes.

O Limite de Tolerância de uma mistura de poluentes estará excedido se a somatória das frações individuais de concentração real e limite de tolerância for maior que um, ou seja se:

$$\frac{C_1}{LT_1} + \frac{C_2}{LT_2} + \dots + \frac{C_n}{LT_N} > 1$$

Onde:

C_i = concentração do poluente (i) no ambiente

LT_i = limite de tolerância do poluente (i)

A taxa de ventilação para mistura de poluentes com efeitos aditivos é a somatória das taxas de ventilação individuais ou seja:

$$Q_{N(MIST)} = \Sigma Q_i$$

No caso de efeito independente, a taxa de ventilação necessária será a maior taxa de ventilação individual ou seja:

$$Q_{N(MIST)} = \text{Maior } Q_i$$

3.2.4. - TAXA DE VENTILAÇÃO PARA EVITAR EXPLOSÃO

Similarmente à diluição de gases e vapores para proteção à saúde, pode-se determinar a taxa de ventilação para evitar explosão com base na emissão do poluente e no limite de explosividade específico. A fórmula utilizada é a seguinte:

$$Q_N = \frac{G}{M} \times 24,1 \times \frac{10^2}{LIE} \times \frac{f_s}{B}$$

Sendo:

Q_N = taxa de ventilação necessária (m^3/h)

G = taxa de emissão de substância (kg/h)

M = massa molecular da substância (kg/kg mol)

LIE = limite inferior de explosividade (%)

f_s = fator de segurança. Em geral usa-se:

- $f_s = 4$ (25% do LIE)
- $f_s = 5$ (20% do LIE)
- B = correção para temperatura tendo em vista que o LIE diminui com o aumento da temperatura
- $B = 1$ para $t < 120^\circ\text{C}$
- $B = 0,7$ para $t > 120^\circ\text{C}$

Deve-se ressaltar que, na maioria dos casos, a diluição ao nível do limite de tolerância satisfaz a condição de controle de risco de explosão tendo em vista que o limite de explosividade é, em geral, maior que o limite de tolerância.

3.2.5. - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO EM AMBIENTES VENTILADOS

Em ambientes ventilados, a concentração do poluente com o tempo será função das taxas de geração e de remoção do poluente.

Considerando mistura perfeita e instantânea do poluente, a variação da concentração com o tempo pode ser expressa por:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{G}{V} - \frac{cQ}{V}$$

Onde:

c = concentração

t = tempo

G = taxa de geração da substância

V = Volume do ambiente

Q = Taxa de ventilação (vazão de ar)

Rearranjando a equação e integrando, tem-se:

$$C_t = \frac{G}{Q} \left(1 - e^{-\frac{Q(t-t_0)}{V}} \right) + C_0 \cdot e^{-\frac{Q(t-t_0)}{V}}$$

Considerando num primeiro caso prático $C_0 = 0$ e $t_0 = 0$, tem-se:

$$C_t = \frac{G}{Q} \left(1 - e^{-\frac{Q(t)}{v}} \right)$$

A concentração máxima no ambiente para tempos longos será:

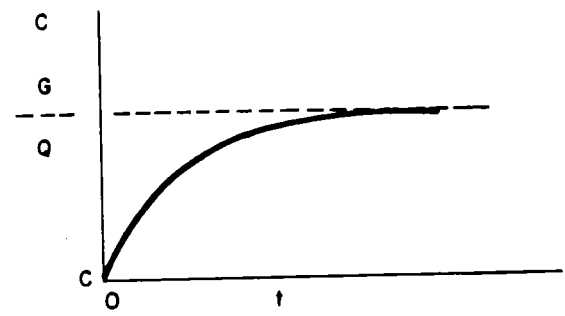
$$C_{MÁX} = \frac{G}{Q}$$

Num segundo caso prático com $C_0 = 0$ e $G = 0$ no instante $t_0 = 0$, tem-se:

$$C_t = C_0 - e^{-\frac{Q t}{v}}$$

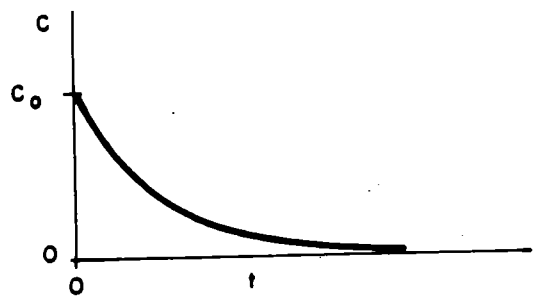
Onde c_t é a concentração no instante t .

As figuras abaixo mostram o comportamento da concentração com o tempo para os dois casos acima.



1º caso

 $C_0 = 0$
 $t_0 = 0$



2º caso

 $C_0 = 0$
 $G = 0$ a partir de t_0
 $t_0 = 0$

No caso de operação intermitente onde a taxa de geração varia com o tempo, pode-se considerar a composição dos dois casos anteriores.

Deve-se ressaltar que, na prática, a mistura não é instantânea nem perfeita, devendo-se considerar a efetividade da diluição conforme mencionado na determinação da taxa de ventilação para diluição (valor k da Tabela 3.1). Assim, a taxa de ventilação efetiva será:

$$Q_e = \frac{Q}{K}$$



CAPÍTULO 4 - VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA

4.1. - COMPONENTES

A ventilação local exaustora capta os poluentes diretamente na fonte, evitando desta forma a dispersão dos mesmos no ambiente de trabalho. Pode-se deduzir, portanto, que esse tipo de ventilação é mais adequada à proteção da saúde do trabalhador. Um sistema de ventilação local exaustora é composto das seguintes partes, conforme mostrado na Figura 4.1.:

- **Captore:** os captore são os pontos de entrada dos poluentes mais gás carreador no sistema. O gás carreador é, em geral, o ar ou um fluido com propriedades próximas da do ar.
- **Dutos:** têm a função de transportar o fluido carreador dos poluentes. Podem ser divididos em tramos ou ramais, duto principal e chaminé.
- **Equipamento de controle de poluição do ar (ECP):** o equipamento de controle da poluição do ar é destinado à limpeza do ar exaurido antes do seu lançamento na atmosfera, incluindo tudo o que é necessário para o seu funcionamento, como por exemplo, trocadores de calor e pré-coletores. O tipo e eficiência destes equipamentos dependerão de um conjunto de fatores, tais como: tipo de poluentes (gases, vapores ou partículas), toxicidade dos poluentes, tamanho das partículas, normas locais de controle de poluição e localização da indústria.
- **Conjunto ventilador-motor:** o conjunto motor-ventilador fornece a energia necessária para movimentar o fluido e vencer todas as perdas de cargas do sistema.
- **Chaminé:** a chaminé é parte integrante do sistema de transporte do gás carreador dos poluentes e é a parte final do sistema, cuja finalidade é o lançamento dos gás carreador mais a emissão residual na atmosfera.

O projeto, instalação e o funcionamento adequado de cada uma das partes é importante para a eficiência do sistema como um todo, influenciando portanto na performance final do mesmo.

4.2. - CAPTAÇÃO DOS POLUENTES

A captação é um ponto fundamental do sistema. Este não atingirá seus objetivos se não houver uma captação adequada dos poluentes. No projeto deste componente estão envolvidos os seguintes fatores: escolha do tipo e geometria dos captore; posicionamento do captor em relação à fonte; velocidade de captura requerida para captar o poluente no ponto mais desfavorável; determinação da vazão de captação; requisitos de energia do captor.

4.2.1. - TIPOS DE CAPTORES

Os captore são usualmente classificados quanto à sua forma e posição relativa à fonte, conforme relacionado a seguir:

- **Captore enclausurantes:** são os captore que envolvem a fonte de poluição, ou seja, a emissão dos poluentes acontece dentro do captor. Neste tipo de captor existem aberturas pequenas (frestas) para

entrada do ar de exaustão.

- **Captore tipo cabine:** são captore similares aos enclausurantes mas que se diferenciam pela maior área aberta para entrada do ar de exaustão. Exemplo típico são as cabines com exaustão utilizadas em operações de pintura a revólver.
- **Captore externos:** são os captore posicionados externamente à fonte. Esses captore devem induzir, na zona de emissão dos poluentes, correntes de ar em velocidade suficiente para a captação e condução dos poluentes para dentro do captore. Podem ser do tipo lateral, superior ou inferior. O captore tipo coifa (Figura 4.2) é um exemplo típico de captore externo superior.
- **Captore receptores:** são os captore colocados estrategicamente no sentido de movimentação dos poluentes, de forma a receber naturalmente o fluxo de poluentes induzido pela própria operação poluidora, como por exemplo os gases quentes de fornos.

Os diversos tipos de captore são apresentados na Figura 4.3. A seleção do tipo de captore ideal para uma determinada fonte poluidora dependerá do tipo de fonte, toxicidade do poluente emitido, restrições de espaço, condições operacionais, etc. Deve-se ter como regra geral que o melhor captore é aquele que capta com a eficiência desejada, não ocasiona problemas para a operação da fonte e para a movimentação de pessoas, materiais e equipamentos na área, que apresenta a menor perda de carga e que necessita a menor vazão de captação, sendo os dois últimos fatores importantes sob o ponto de vista de custo do sistema e custo operacional.

4.2.2. - ALGUNS ASPECTOS IMPORTANTES NO PROJETO E LOCALIZAÇÃO DO CAPTOR

O captore deve ser colocado o mais próximo possível da fonte poluidora. Isso promove melhor captação a uma vazão menor (menor custo operacional). Na Figura 4.4 está mostrada a diferença de vazão para o caso de captore localizados à distância x e $2x$ em relação à fonte. A vazão, em geral, varia com o quadrado da distância e portanto, no caso da distância $2x$ a vazão requerida seria o quádruplo em relação à distância x . Ressalte-se ainda que, quanto maior for a distância do captore à fonte, maior será a possibilidade de ação de correntes transversais de ar (vento) existentes no ambiente que agirão no sentido de prejudicar o encaminhamento dos poluentes para o captore, necessitando portanto de velocidade de captura mais alta, aumentando, em consequência, a vazão necessária.

A direção do fluxo dos poluentes captados pelo sistema de exaustão em relação ao operador da fonte é importante do ponto de vista de proteção à exposição a altas concentrações.

A Figura 4.5 mostra a diferença da direção do fluxo de ar no caso de captore laterais e captore tipo coifa. O fluxo de ar induzido, ainda sem os poluentes, no caso do captore lateral, passa primeiro pela zona respiratória do operador, arrasta os poluentes e então se dirige para o captore. No caso de coifas, o operador pode ficar sujeito a altas concentrações de poluentes ao se curvar para retirada ou colocação de peças em um tanque, por exemplo.

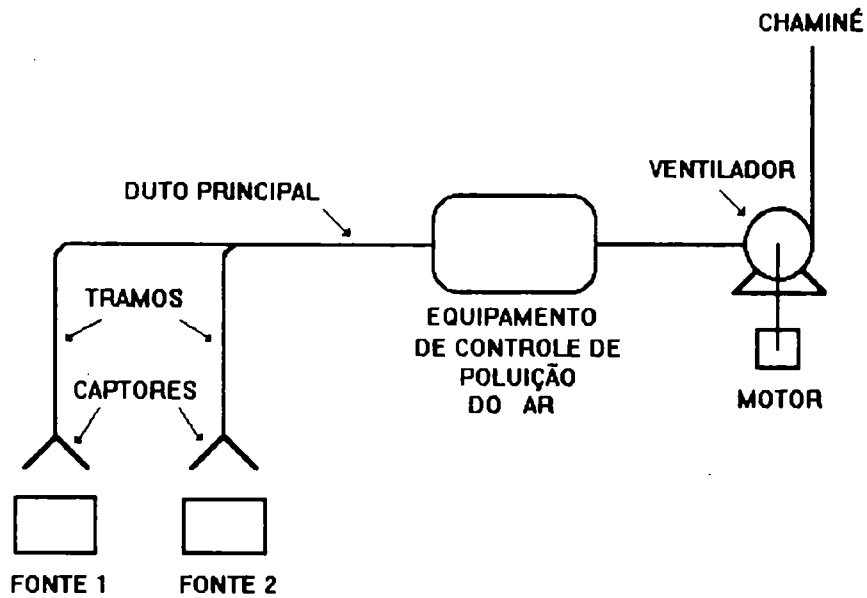


Figura 4.1 - Componentes do sistema de ventilação local exaustora

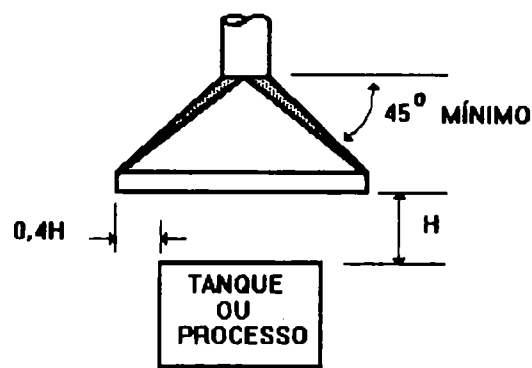


Figura 4.2 - Captor tipo coifa

Não deve ser utilizado quando o material é muito tóxico e o operário precisa curvar-se sobre o tanque.

Fórmula da vazão:

$$Q = 1,4 PVH$$

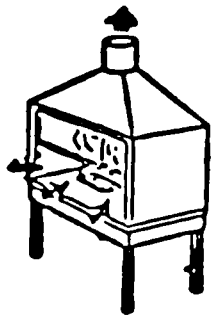
Onde:

P = perímetro do tanque

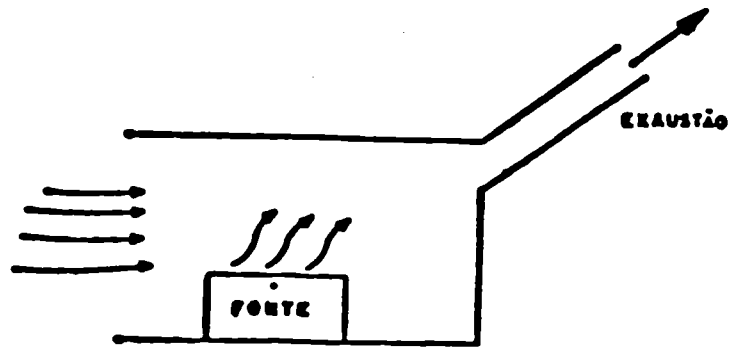
V = velocidade de captura

Perda de entrada:

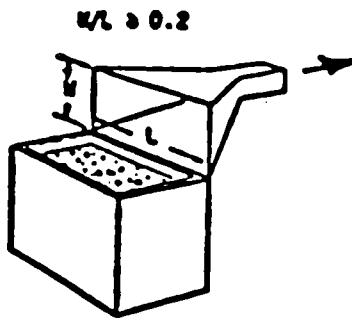
$$\Delta P_e = 0,25 \cdot P_c$$



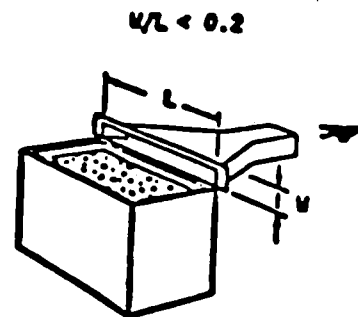
Enclausurante



Cabine



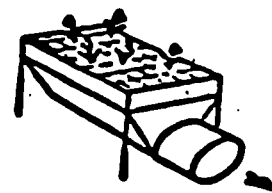
Externo lateral



Externo lateral com fenda



Externo receptor



Externo inferior

Figura 4.3 - Principais tipos de captores

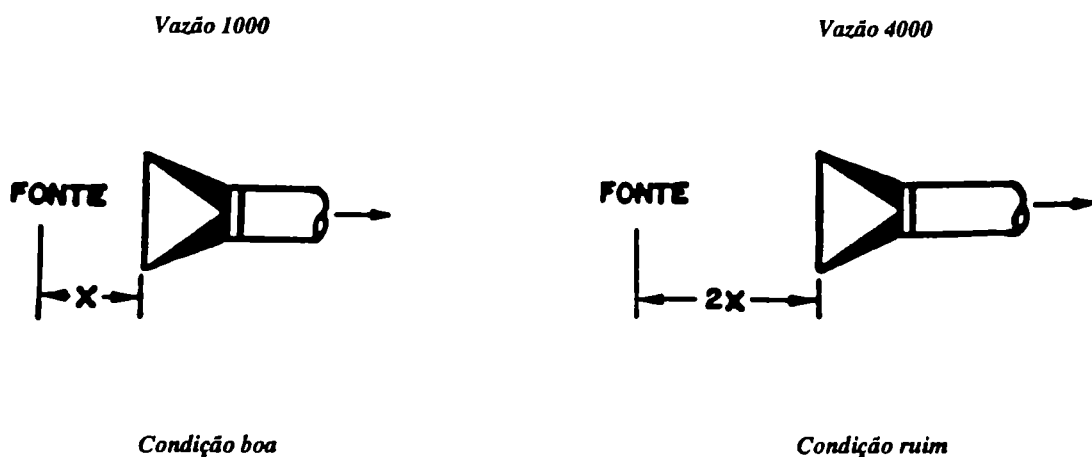
O enclausuramento da fonte é um fator importante tanto para reduzir a vazão de exaustão como também para melhorar a eficiência de captação. Quanto mais aberta a área entre o captor e a fonte, maior a possibilidade de ação de correntes de ar (vento) que arrastarão os poluentes para longe do captor, impedindo a sua captação. O enclausuramento age de duas formas na redução da vazão de captação: uma na exigência de menores velocidades de captura e a outra na diminuição da área aberta. Como a vazão necessária é proporcional à velocidade de captura e à área aberta, verifica-se a importância de adotar o procedimento da limitação de áreas abertas. A colocação de anteparos para diminuir ou impedir a ação dos ventos é uma medida barata e que muitas vezes pode ser adotada quando não for possível enclausurar a fonte. Esses aspectos estão mostrados na Figura 4.6.

A crença existente de que os gases mais densos que o ar sempre se dirigem para o solo não é verdadeira no caso de concentrações usuais em ambientes de trabalho. Os gases e vapores emitidos no ambiente de trabalho se misturam com o ar e essa mistura passa a se comportar como um todo, devendo então ser considerada a densidade da mistura para os projetos de ventilação. Somente nos casos de altas emissões de gases ou vapores mais densos que o ar é que consideraríamos a localização dos captores mais próximos ao solo para evitar incêndio ou explosão. Essa condição, em geral, só ocorre em casos de vazamento acidentais. A Figura 4.7 ilustra essa situação.

4.2.3. - VELOCIDADE DE CAPTURA

A velocidade de captura é a velocidade que deve ter o ar na região estabelecida de forma a captar os poluentes, conduzindo-os para dentro do captor. Se o poluente emitido no ponto mais desfavorável for captado, então todos os demais serão captados.

Em ventilação também se utiliza o termo "velocidade de controle" que, no caso de captores externos é a própria velocidade de captura. No caso de captores tipo enclausurante ou tipo cabine, a velocidade de controle pode ser entendida como a velocidade necessária para evitar a saída dos poluentes do captor já que o captor envolve a fonte.



LOCALIZE O CAPTOR MAIS PROXIMO POSSIVEL DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO

Figura 4.4. - Influência da distância na vazão de exaustão

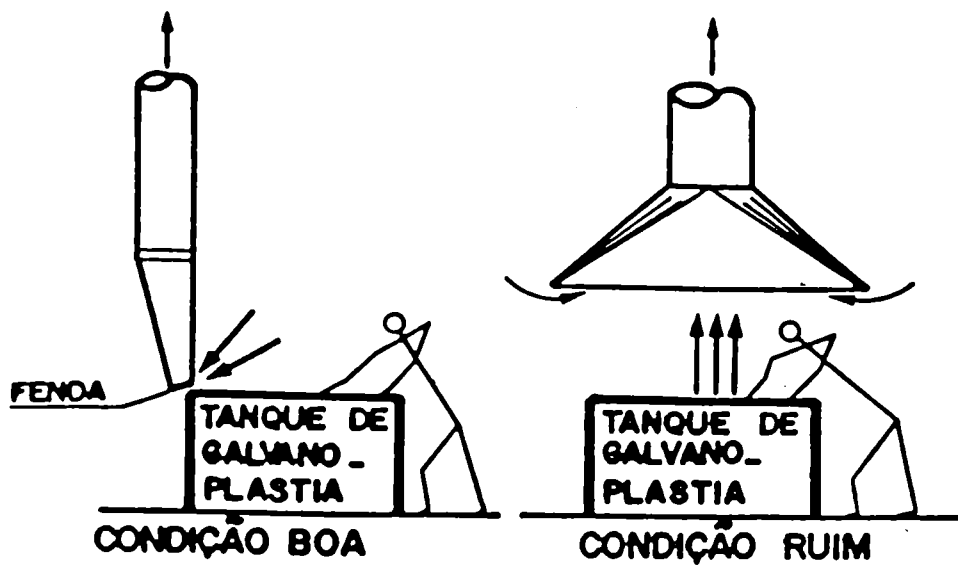


Figura 4.5 - Influência da direção do fluxo do ar de exaustão

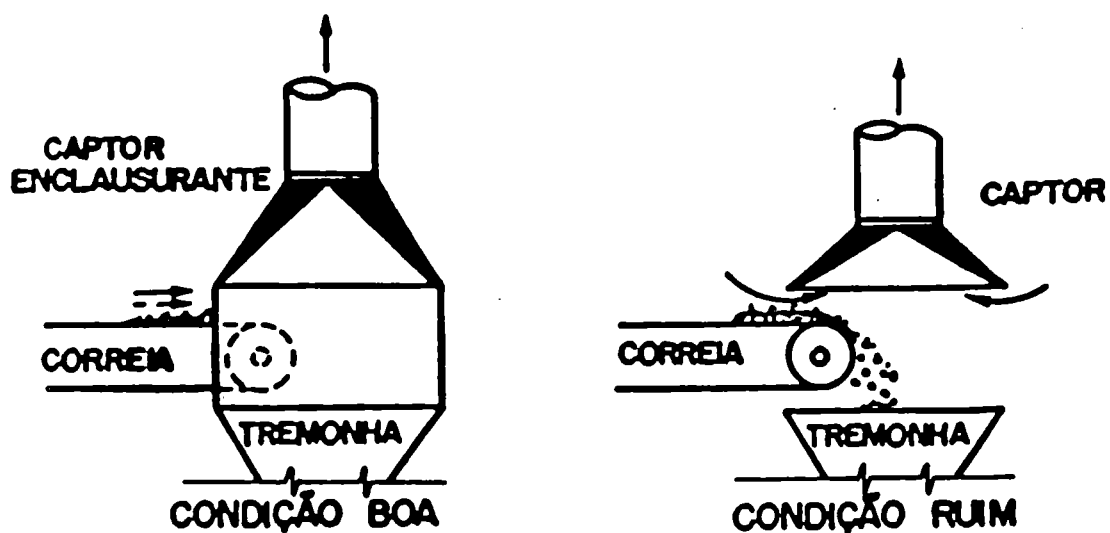
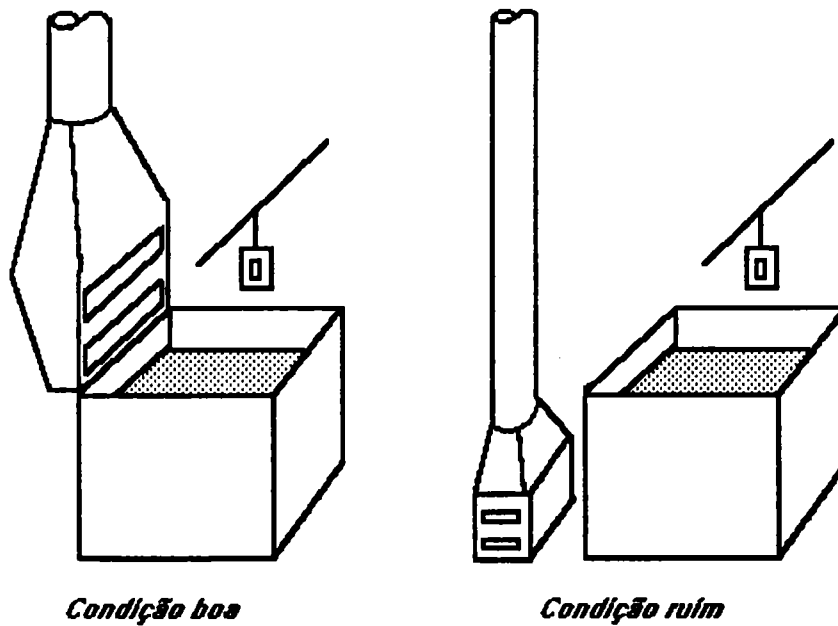


Figura 4.6 - Influência do enclausuramento na captação



Em higiene industrial, a densidade da mistura de solventes não é muito diferente da do ar. A instalação de exaustão no solo só deve ser usada para proteção contra incêndio ou explosão.

EXEMPLO

Densidade do ar	1,00
Densidade do vapor do acetato de amila 100%	4,49
Densidade do limite inferior de explosividade	1,038
Densidade da mistura ao nível do TLV	1,0003

Figura 4.7 - Influência da densidade do poluente na localização do captor

A velocidade de captura requerida para um determinado caso depende do tipo de captor, da velocidade de emissão, da toxicidade do poluente, do grau de movimentação do ar do ambiente (correntes transversais), do tamanho do captor e da quantidade de poluentes emitida.

A Tabela 4.1 mostra valores usuais de velocidade de captura para várias condições de dispersão e de correntes transversais do ar no ambiente, mostrando também alguns exemplos típicos.

4.2.4. - VAZÃO DE EXAUSTÃO

A vazão de exaustão representa o volume de ar que deve ser movimentado para captar uma determinada massa ou volume de poluente emitidos por uma fonte poluidora. A vazão total a ser movimentada será a somatória das vazões exigidas em cada captor.

Os seguintes requisitos devem ser atendidos pela vazão de exaustão:

- A) deve captar a totalidade dos poluentes emitidos;

- B) não deve interferir nos processos e operações, como por exemplo o arraste de matérias-primas e produtos, diminuição da temperatura dos equipamentos e de processos, etc.;
- C) deve ser uma vazão econômica, ou seja, deve ser a mínima necessária para atender aos requisitos acima.

A fórmula geral para cálculo da vazão é dada por: $Q = A_c \cdot V_c$, onde Q é a vazão necessária num determinado captor; A_c é a área da superfície de controle e V_c é a velocidade do ar na superfície de controle necessária para captar os poluentes e conduzi-los ao sistema de exaustão.

No caso de captores enclausurantes a superfície de controle é a área das aberturas. No captor tipo cabine a superfície de controle é a área da face da cabine mais qualquer área aberta que possa existir nas laterais da mesma. Nesses casos é fácil visualizar a superfície de controle através da qual se impõe uma determinada velocidade e determina-se a vazão.

No caso de captores externos é necessário que se tenha um certo volume de ar passando pelo ponto mais desfavorável de emissão, de forma que esse volume de ar capture e arraste os poluentes para o captor, conforme ilustrado na Figura 4.8. Nesse caso, a superfície de controle não está fisicamente delimitada. Se considerarmos uma superfície de controle imaginária na qual o ar, em todos os pontos, possui a mesma velocidade e se houver condições de determinar a área dessa superfície, podemos então determinar a vazão, se aplicarmos nessa área a velocidade de captura necessária.

TABELA 4.1. - VALORES PARA VELOCIDADE DE CONTROLE (OU DE CAPTURA)		
<i>Condições de dispersão do poluente</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Velocidade de controle (m/s)</i>
Emitidos praticamente sem velocidade em ar parado	Evaporação de tanques, desengraxe, etc.	0,25 - 0,50
Emitidos a baixa velocidade em ar com velocidade moderada	Cabines de pintura, enchimento de tanques de armazenamento (intermitente), pontos de transferência de transportadores de baixa velocidade, solda, deposição eletrolítica, decapagem	0,50 - 1,00
Grande geração em zona de ar com velocidade alta	Enchimento de barris, carga de transportador	1,00 - 2,50
Emitido com alta velocidade inicial em zona de ar com velocidade alta	Esmeris, jateamento com abrasivos	2,50 - 10,0

Nota: Em cada categoria acima a escolha dos valores, na faixa mostrada depende de diversos fatores, a saber:

LIMITE INFERIOR DA FAIXA

1. Ambiente sem correntes de ar ou favorável à captura
2. Poluente de baixa toxicidade
3. Intermitente, baixa emissão
4. Captor grande - grande vazão de ar

LIMITE SUPERIOR DA FAIXA

1. Existência de corrente de ar
2. Poluente de alta toxicidade
3. Alta emissão
4. Captor pequeno - somente para controle local

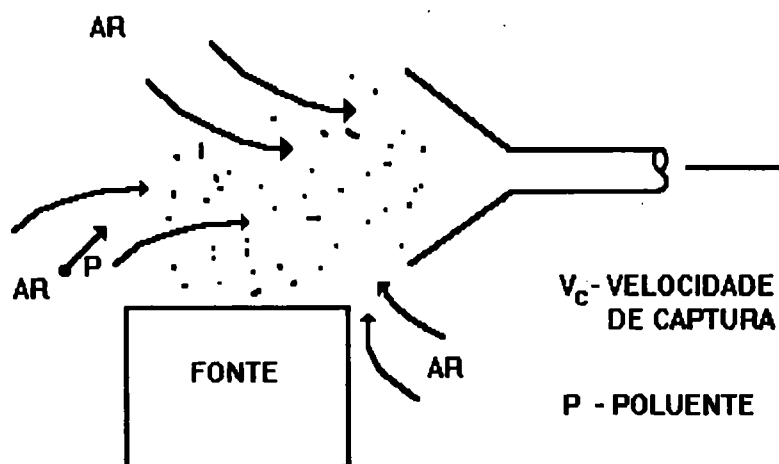


Figura 4.8 - Fluxo de ar para captadores externos

A determinação da superfície de controle, bem como o comportamento da velocidade induzida dentro da região de exaustão, têm sido motivo de estudos práticos e teóricos realizados por vários autores, entre os quais Dallavalle, Hemeon, Silverman, Garrison e Fletcher.

A prática usual, pela simplificação da aplicação, tem sido aquela de considerar a velocidade induzida ao longo do eixo. A Figura 4.9 mostra diversos tipos de captadores e respectivas fórmulas para cálculo da vazão de exaustão.

A Tabela 4.2. condensa as fórmulas apresentadas por vários autores e recomendadas por Braconier para captadores externos com forma circular e retangular, com a utilização ou não de flanges, conforme Figura 4.10.

Deve-se ressaltar que, no caso de exaustão, a velocidade do ar cai rapidamente à medida que se afasta da face do captador. Em geral, a velocidade num ponto situado a uma distância igual a 1 diâmetro da face do captador é de 10% da velocidade da face do captador. No caso de sopro (jato), a velocidade cai menos rapidamente atingindo o valor de 10% da velocidade da face a distâncias de aproximadamente 30 diâmetros da face do captador.

Vazão insuficiente significa captação deficiente e portanto maior poluição do ambiente de trabalho. A Figura 4.11 dá uma visão do que ocorre quando a vazão é insuficiente.

Deve-se ressaltar que a distribuição uniforme do ar na região frontal do captador é muito importante e isso pode ser conseguido de várias formas, conforme mostra a Figura 4.12, sendo a utilização de fendas uma prática usual.

A ventilação de tanques, principalmente de tratamento superficial, e processos quentes (fornos de fundição, por exemplo) por suas características específicas têm tratamento em separado. Existe metodologia específica para a escolha do captador e da velocidade de controle e para a determinação da vazão de exaustão para tanques de tratamento superficial (galvanoplastia).

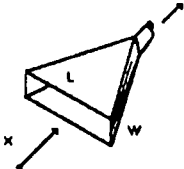
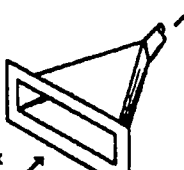
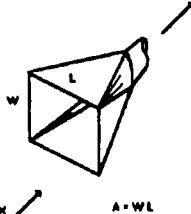
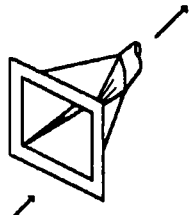
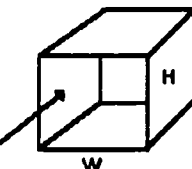
Tipo de Captor	Descrição	Razão (W/L)	Vazão
	Com fenda	0,2 ou menor	$Q = 3,7 L V X$
	Com fenda flangeada	Idem	$Q = 2,8 L V X$
	Abertura sem flange	0,2 ou maior (também serve para captor circular)	$Q = V (10 x^2 + A)$
	Abertura com flange	Idem	$Q = 0,75 V (10 x^2 + A)$
	Cabine	—	$Q = V A = V W H$

Figura 4.9 - Fórmula de vazão para diversos captors

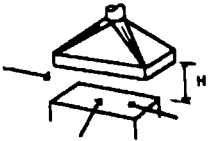
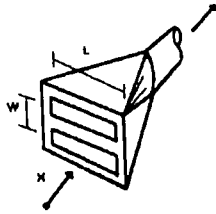
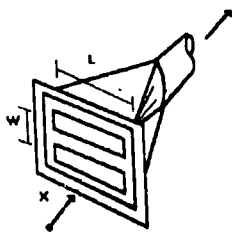
Tipo de Captor	Descrição	Razão (W/L)	Vazão
	Coifa	—	$Q = 1,4 P V H$ (P = perímetro do tanque)
	Plano com múltiplas fendas (2 ou mais fendas)	0,2 ou maior	$Q = V (10 x^2 + A)$
	Flangeado com múltiplas fendas (2 ou mais fendas)	0,2 ou maior	$Q = 0,75 V (10 x^2 + A)$

Figura 4.9 - Fórmula de vazão para diversos captors - continuação

TABELA 4.2 - FÓRMULAS RECOMENDADAS PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE INDUZIDA DO AR AO LONGO DO EIXO DE CAPTORES EXTERNOS

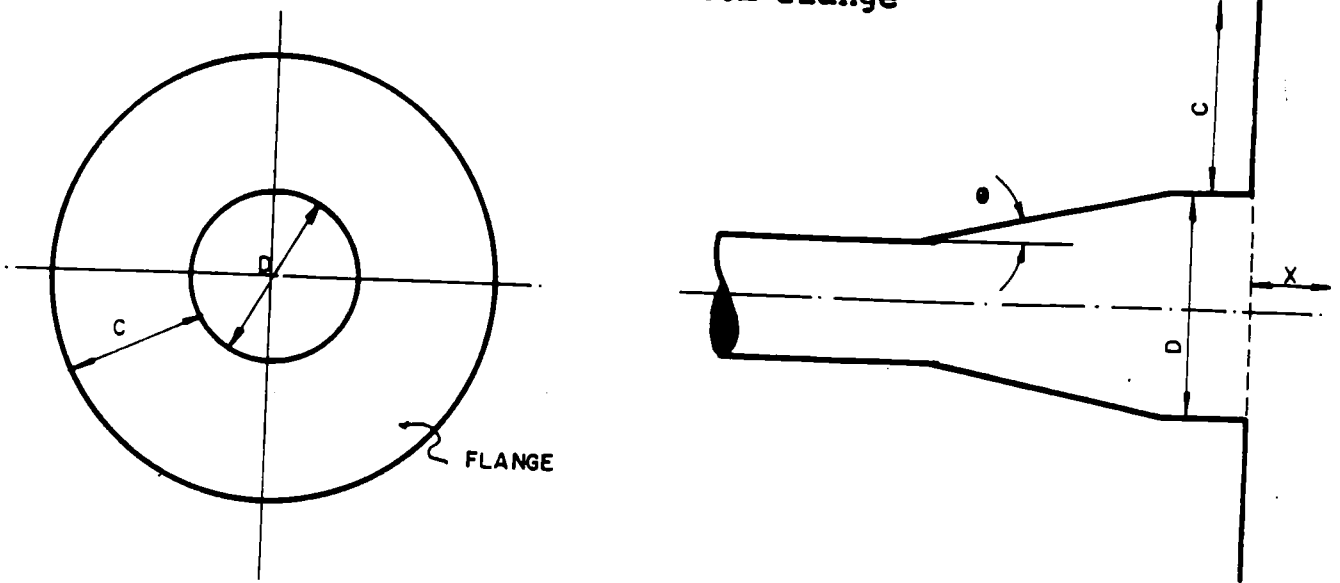
<i>Tipo</i>	$\frac{V_x}{V_f}$	<i>Campo de aplicação</i>	<i>Autor</i>
Circular sem flange	$\frac{1}{1 + \frac{10 x^2}{A_f}}$	$0 < \frac{X}{\sqrt{A_f}} \leq 1,7; \theta \leq 30^\circ$	Dallavalle
Retangular sem flange	$\frac{1}{0,93 + 8,58 \cdot \alpha^2}$ Onde: $\alpha = \left(\frac{x}{\sqrt{A_f}} \right) \cdot \left(\frac{L}{W} \right)^\beta$ $\beta = 0,2 \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{A_f}} \right)^{-\frac{1}{3}}$	$1 < \frac{L}{W} \leq 16$ $0,05 \leq X \sqrt{A_f} \leq 3$ $\theta \leq 30^\circ$	Fletcher
Circular com flange	$1,10 (0,07)^{X/D}$ $0,10 \left(\frac{X}{D} \right)^{-1,6}$	$\theta \leq \frac{X}{D} < 0,5 \text{ e } C \geq D$ $0,5 \leq \frac{X}{D} \leq 1,5 \text{ e } C \geq D$	Garrison
Retangular com flange	$1 - \frac{2}{\pi} \text{Arctg} \left(\frac{2x \sqrt{4x^2 + L^2 + w^2}}{WL} \right)$	$1 \leq \frac{L}{W} \leq 16$ $\theta \leq \frac{x}{\sqrt{A_f}} \leq 1,6$ $\frac{C}{\sqrt{A_f}} \geq 1$	Tyaglo e Shepelev

NOMENCLATURA

V_x = Velocidade induzida na distância X (eixo) (m/s)
 V_f = Velocidade média na face do captor (m/s)
X = Distância do captor ao ponto considerado (eixo) (m)
 A_f = Área da face do captor (m)

L = Comprimento da abertura do captor retangular (m)
W = Largura de abertura do captor retangular (m)
D = Diâmetro da abertura do captor circular (m)
C = Largura da flange (m)

a) Captor externo circular com flange



b) Captor externo retangular com flange

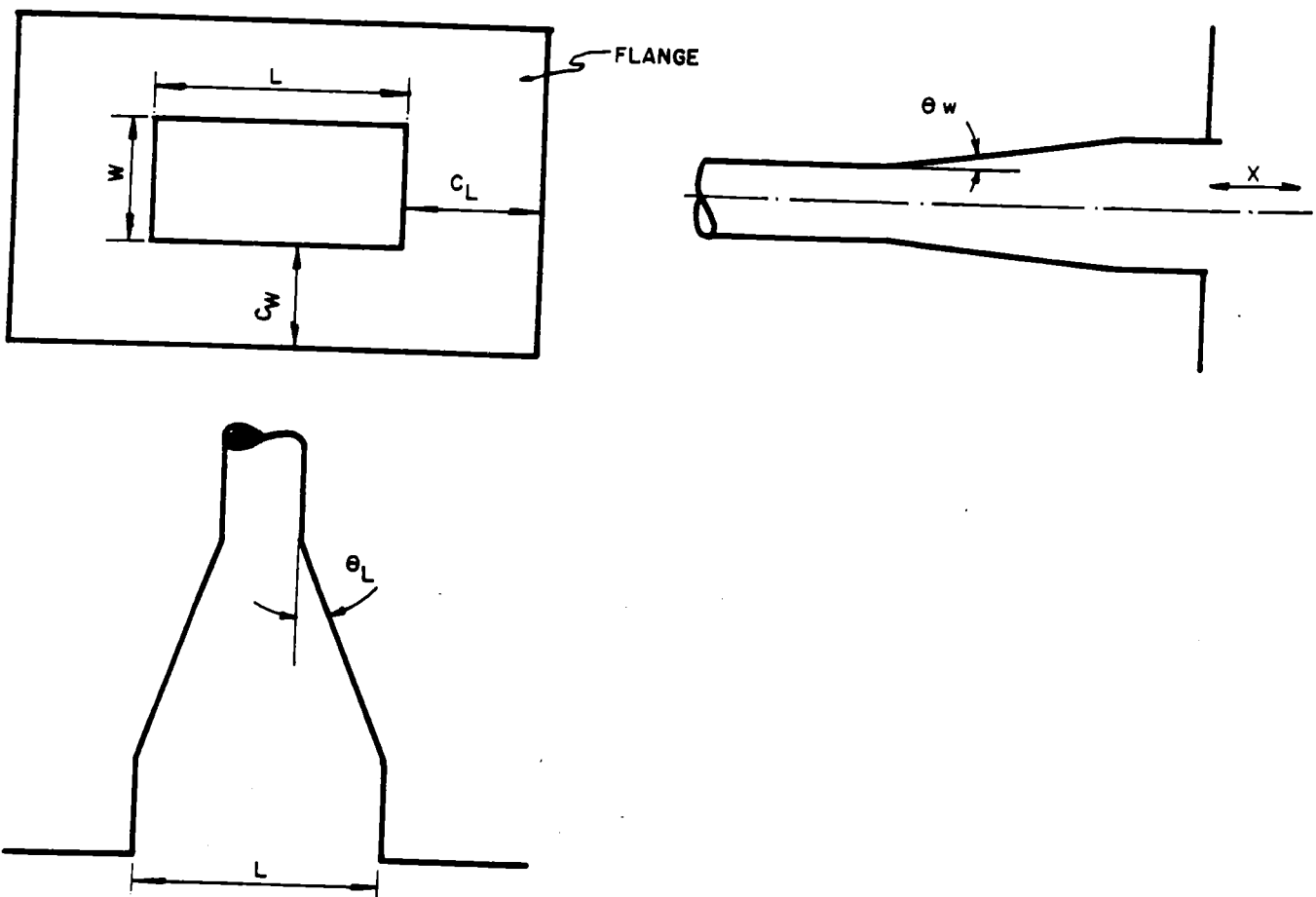


Figura 4.10 - Captores externos com flanges

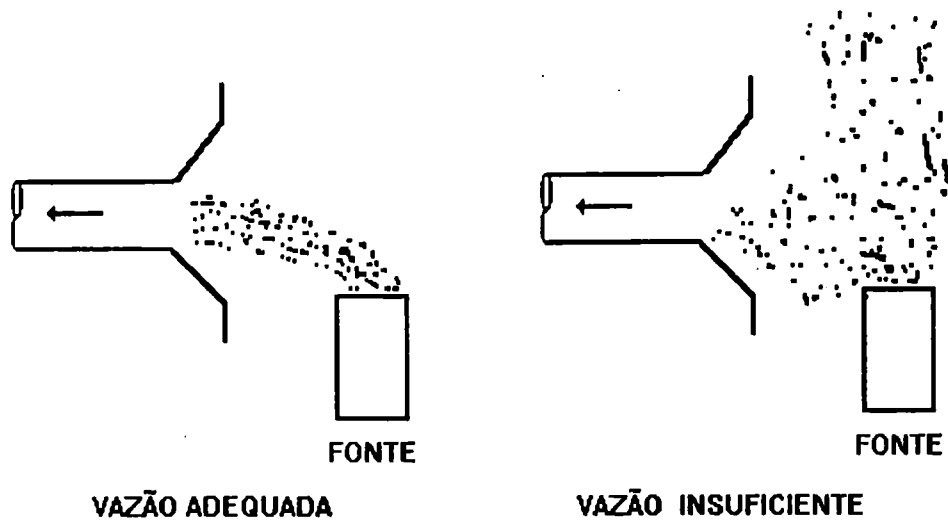
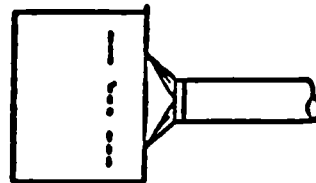
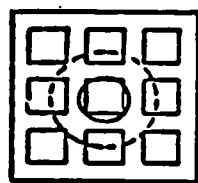
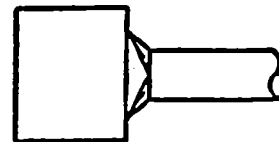
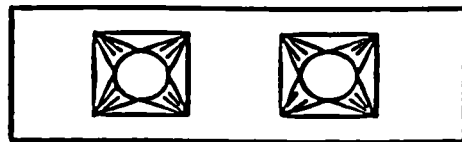


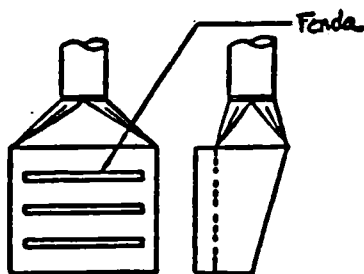
Figura 4.11 - Efeito da vazão na captação dos poluentes



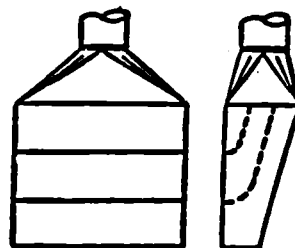
Anteparos Uniformizadores



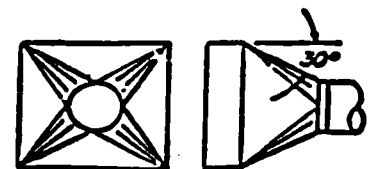
Subdivisão das tomadas de ar.



Fendas



Subdivisão do pleno



Cone suave

Figura 4.12. Formas para uniformização do ar em frente aos captadores

4.2.5. - REQUISITOS DE ENERGIA DO CAPTOR

Para que o ar se movimente e penetre no captor é necessário fornecer energia ao mesmo. Essa energia é fornecida na forma de pressão estática, a qual denominamos "pressão estática do captor".

A pressão estática do captor é a somatória da pressão cinética necessária à movimentação do fluido até atingir a velocidade que o fluido deve ter no duto logo após o captor, mais as perdas de cargas desde a face do captor até o início do duto, incluindo a região da *vena contracta*, conforme a Figura 4.13 abaixo, ou seja:

$$Pe_c = - (Pc_d + DPc)$$

Onde:

Pe_c = pressão estática do captor

Pc_d = pressão cinética no duto

DPc = perda de energia (perda de carga) no captor

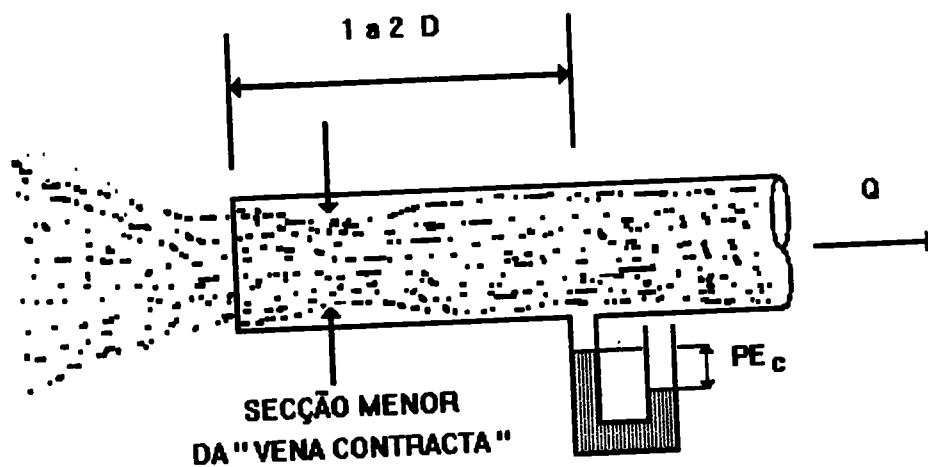


Figura 4.13 - Pressão estática do captor

A perda de carga acarreta uma redução na vazão de exaustão em um captor, quando comparada com a vazão ideal que seria exaurida se não houvesse tais perdas. A relação entre a vazão real e a ideal define o coeficiente de perda na entrada (C_e) do captor.

A vazão ideal de um captor que não apresentasse perdas exaurindo o ar é dada por:

A vazão real (Q) em m^3/s é dada pela expressão:

$$Q = 4,43 \cdot Ad \cdot C_e \cdot \sqrt{\frac{Pe_c}{d_f}}$$

Onde:

A_d = área da seção transversal do duto

d_f = densidade do fluido

Para o ar padrão a fórmula acima se torna:

$$Q = 4,043 \cdot A_d \cdot C_e \cdot \sqrt{P_{e_c}}$$

Se usássemos a P_c do duto ao invés da P_{e_c} (pressão estática do captor) teríamos:

$$Q = 4,043 \cdot A_d \cdot \sqrt{P_c}$$

A Pressão Estática do Captor (P_{e_c}) representa a aceleração a ser fornecida ao fluido para se movimentar até atingir a velocidade do duto (em geral $1 P_c$) mais a perda de carga na entrada (DP_e).

$$P_{e_c} = 1 P_c + DP_e = P_c + K_c \cdot P_c$$

Sendo

$$K_c = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2}$$

Estas expressões permitem calcular a perda de energia no captor, conhecendo-se o coeficiente de entrada (C_e) do captor ou o fator de perda de carga do captor (K_c) e a pressão cinética no duto, P_{c_d} , correspondente à velocidade v , dada pela fórmula.

A Tabela 4.3 e a Figura 4.14 apresentam, para vários tipos de captors, os valores do coeficiente de entrada, bem como as perdas de cargas do captor expressas em frações da pressão cinética no duto.

Por outro lado, conhecendo-se o valor do coeficiente de entrada, o qual depende somente da geometria do captor, e a área da seção transversal do duto (A_d), pode-se facilmente correlacionar a vazão (Q) de exaustão com a pressão estática do captor (P_{e_c}) utilizando a expressão

$$Q = 4,43 \cdot A_d \cdot C_e \cdot \sqrt{\frac{P_{e_c}}{d_f}}$$

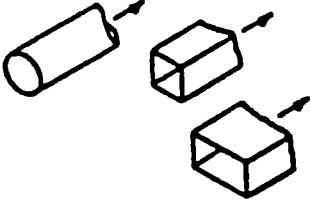
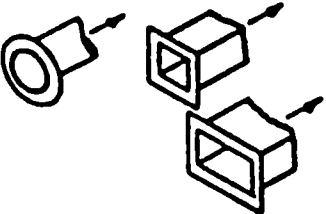
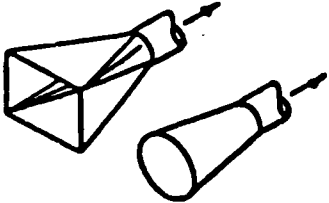
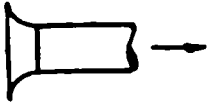
para qualquer densidade de fluido ou

$$Q = 4,043 \cdot A_d \cdot C_e \cdot \sqrt{P_{e_c}}$$

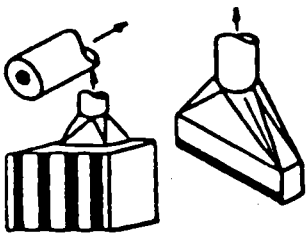
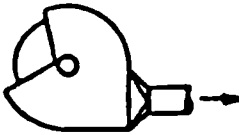
no caso do ar padrão ($d_f = 1,2 \text{ kg/m}^3$) (unidades: m^3/s ; m^2 ; mmCA).

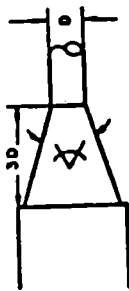
Pode-se concluir, portanto, que a pressão estática do captor, que pode ser medida com um simples manômetro tipo U, instalado conforme ilustrado através da Figura 4.13, é um parâmetro importante para o controle da vazão de exaustão de um captor, devendo ser utilizada na prática como indicador do ponto de operação do captor.

TABELA 4.3 - COEFICIENTE DE ENTRADA E PERDA DE CARGA EM CAPTORES

<i>Tipo de captor</i>	<i>Descrição</i>	<i>Coefficiente de entrada -C_e</i>	<i>Perda de carga ΔP_e</i>
	Aberturas planas	0,72	0,93 PC
	Aberturas flangeadas	0,82	0,49 PC
	Captores cônicos ou afunilados	Variável com o ângulo do cone ou afunilamento (ver figura 4.14)	
	Entrada em forma de cone	0,98	0,04 PC

**TABELA 4.3 - COEFICIENTE DE ENTRADA E PERDA DE CARGA EM CAPTORES
- CONTINUAÇÃO -**

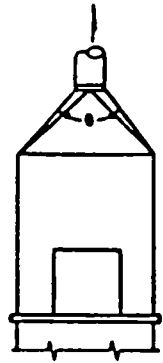
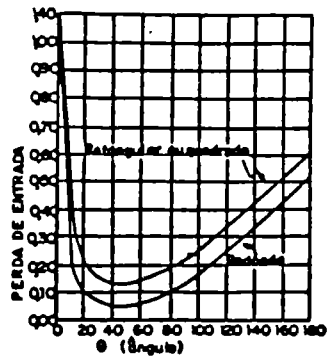
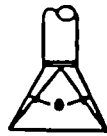
	<p>Orifícios</p>	<p>Ver figura 4.14</p>	
	<p>Captor típico para rebolos abrasivos</p>	<p>Saída sem afunilamento</p>	
		<p>0,78</p>	<p>0,65 PC</p>
		<p>Saída com afunilamento</p>	
		<p>0,85</p>	<p>0,40 PC</p>



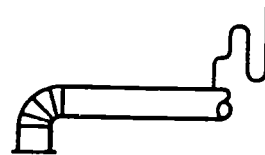
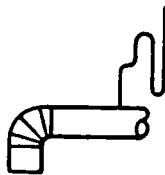
Cabine com saída inclinada

α	PERDAS DE ENTRADA		COEFICIENTE DE ENTRADA	
	Redondo	Retangular	Redondo	Retangular
15°	0,15 P _c	0,25 P _c	0,93	0,89
30°	0,08 P _c	0,16 P _c	0,96	0,93
45°	0,06 P _c	0,15 P _c	0,97	0,93
60°	0,08 P _c	0,17 P _c	0,96	0,92
90°	0,15 P _c	0,25 P _c	0,93	0,89
120°	0,26 P _c	0,35 P _c	0,89	0,86
150°	0,40 P _c	0,40 P _c	0,84	0,82

Figura 4.14 - Coeficiente de entrada e perda de carga em captadores

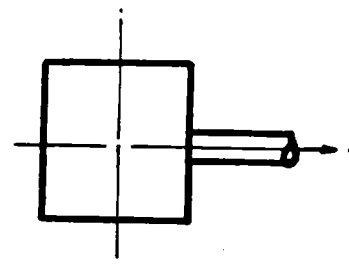


Coifas - C_e de 0,82 - 0,96



Tubulação e cotovelo, $C_e = 0,62$

Tubulação flangeada e cotovelo, $C_e = 0,74$



*Orifício
 $C_e = 0,60$
 $\Delta P_e = 1,78 P_e$ (orifício)*

*Orifício + duto flangeado (muitos tipos de fenda)
 $C_e = 0,55$ (quando velocidade do duto = velocidade da fenda)
 $\Delta P_e = 1,78 P_e$ (orifício) + $0,49 P_e$ (duto)*

Figura 4.14 - Coeficiente de entrada e perda de carga em captores (continuação)

4.3. - CAPTAÇÃO PARA PROCESSOS QUENTES

4.3.1. - INTRODUÇÃO

Processos e operações realizados a altas temperaturas, muito comuns na indústria, por provocarem o aquecimento do ar circunvizinho causam a movimentação ascensional de massa de ar, carreando os contaminantes que, em sua movimentação, provocam a entrada de quantidades adicionais de ar, ambiente no fluxo ascensional. Com a introdução dessas quantidades adicionais de ar, o fluxo ascensional tende a entrar em equilíbrio térmico com o ar ambiente, perdendo essa sua tendência ascensional, mas já então os contaminantes estarão contidos numa enorme massa de ar. Esse fato faz com que as vazões de controle usualmente recomendadas sejam insuficientes para ventilar processos quentes, havendo necessidade de maiores vazões para exaurir também a massa de ar adicional induzida.

Quando uma quantidade significativa de calor é transferida para o ar que circunda a fonte, por condução e convecção, isso pode causar uma corrente de ar ascensional com velocidade algumas vezes maiores que 2 m/s (400 fpm).

Para projeto do captor e da vazão de ventilação torna-se necessário levar em consideração a corrente térmica. Como o fluxo de ar quente de uma fonte quente se move para cima, ele forma uma turbulência com o ar que circunda. Quanto maior for a altura da coluna de ar quente, maior será a diluição com o ar ambiente. A Figura 4.15. esquematiza esta situação.

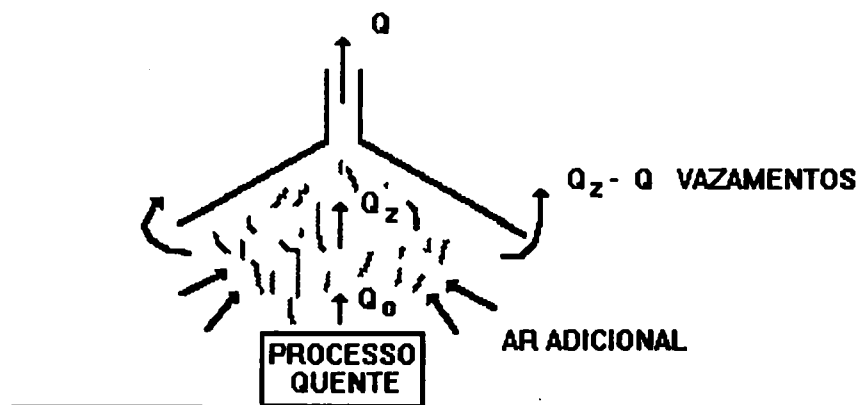


Figura 4.15 - Ventilação de processo quente

4.3.2. - CAPTOR TIPO COIFA CIRCULAR ALTA

Sutton investigando a mistura turbulenta de uma coluna de ar quente acima da fonte e usando os dados experimentais de Schmidt e suas experiências com geradores de fumaça, desenvolveu a equação que descreve a velocidade e o diâmetro de um jato de ar quente ascendente a uma altura acima de uma fonte pontual hipotética localizada a uma distância Z abaixo da fonte real.

Hemeon adaptou a equação de Sutton para o projeto de captores tipo coifa alta, ou seja, aquela localizada a mais de 1 metro acima da fonte, para controle de ar contaminado de fontes quentes. A coluna de ar ascendente, ilustrada na Figura 4.16, foi então caracterizada pela fórmula empírica abaixo:

$$D_c = 0,5 \cdot (X_f)^{0,88} \quad (1)$$

Onde:

D_c = diâmetro da coluna de ar quente na face do captor (pés)

X_f = distância da fonte pontual hipotética até a face do captor (pés)

$$X_f = y + z \quad (2)$$

Da Figura 4.16. temos que X_f é a soma de y , a distância da fonte quente até a face do captor e z , a distância abaixo da fonte quente até a fonte pontual hipotética. Os valores de z podem ser obtidos da Figura 11.3 ou então calculados pela fórmula:

$$z = 2,2 \cdot (B)^{1,138} \quad (3)$$

sendo B o diâmetro da fonte quente, em pés.

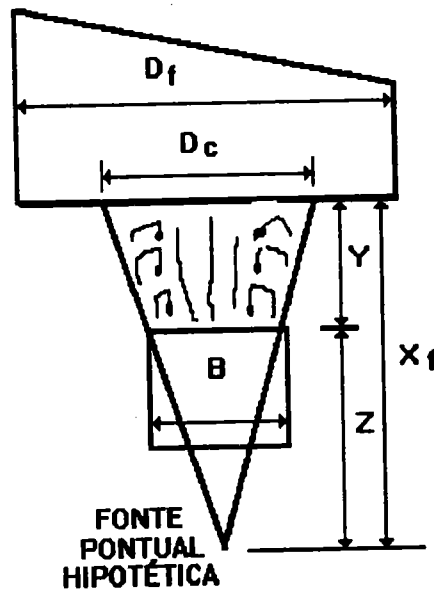


Figura 4.16 - Dimensões usadas para projetar captores tipo coifa alta para fontes quentes (Hemeon)

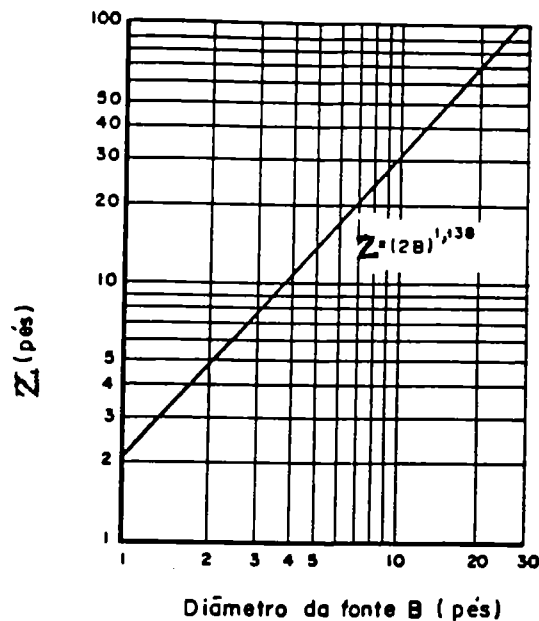


Figura 4.17 - Valor de Z para usar com equações de captor tipo coifa alto.

De acordo com Hemeon, a velocidade da coluna de ar para o captor pode ser calculada pela fórmula:

$$v_f = 37 \cdot (X_f)^{-0,29} \cdot (q_c)^{0,333} \quad (4)$$

Onde:

v_f = velocidade da coluna de ar quente na distancia X_f (pés/min.)

X_f = altura do ponto considerado à fonte pontual hipotética (pés)

q_c = quantidade de calor transferido para o ar (Btu/min.)

A quantidade de calor absorvida pela coluna ascendente pode ser calculada pelo coeficiente de perda de calor por convecção natural apropriado (q_L) listado na Tabela 4.4. e pela relação:

$$q_c = 0,0167 \cdot q_L \cdot A_q \cdot t \quad (5)$$

Sendo:

q_c = calor transferido para a coluna de ar ascendente (Btu/min.)

q_L = coeficiente de perda de calor por convecção natural (Btu/h . pé² . °F)

A_q = área da superfície quente (pé²)

Δt = diferença de temperatura entre a fonte quente e o ar ambiente (°F).

**TABELA 4.4 - COEFICIENTE DE PERDA DE CALOR POR CONVECÇÃO NATURAL
(Btu/h . pé . °F)**

<i>Forma ou disposição da fonte quente</i>		q_L
Pratos verticais (h > 2 pés)	h = altura do prato l = largura do prato $A = h \times l$	$0,3 (\Delta t)^{\frac{1}{4}}$
Pratos verticais (h < 2 pés)	h = altura do prato l = largura do prato $A = \frac{\pi h^2}{4}$	$0,28 \cdot \left(\frac{\Delta t}{h}\right)^{\frac{1}{4}}$
Pratos horizontais com face para cima	d_p = diâmetro do prato $A = \frac{\pi d_p^2}{4}$	$0,38 \cdot (\Delta t)^{\frac{1}{4}}$
Pratos horizontais com face para baixo	d_p = diâmetro do prato $A = \frac{\pi d_p^2}{4}$	$0,2 \cdot (\Delta t)^{\frac{1}{4}}$
Cilindros horizontais d = diâmetro em polegadas	L = comprimento do cilindro $A = L \times d$	$0,42 \cdot \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{\frac{1}{4}}$
Cilindros verticais (L > 2 pés) d = diâmetro em polegadas	$A = 0,275 \cdot d \cdot L + 0,024 L^2$ (superfície lateral) $A = \frac{\pi d^2}{4}$ (topo)	$0,4 \cdot \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{\frac{1}{4}}$
Cilindros verticais (L < 2 pés)	L = 0,1 - F = 3,5 L = 0,2 - F = 2,5 L = 0,3 - F = 2,0 L = 0,4 - F = 1,7 L = 0,5 - F = 1,5 L = 1,0 - F = 1,1	$0,4 \cdot \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{\frac{1}{4}} \times F$

As experiências de Schmidt foram conduzidas em ambiente de laboratório fechado, projetado para minimizar correntes de ar e outros distúrbios. Entretanto Sutton relata que houve uma quantidade considerável de oscilações e flutuações na coluna de ar ascendente. Sutton definiu o limite horizontal da coluna de ar como o lugar dos pontos que tenha uma diferença de temperatura relativa ao ar local igual a 10% daquela no centro da coluna.

Considerando que esta diferença arbitrária não define exatamente os outros limites da coluna de ar e que efeitos maiores de oscilações e correntes de ar podem ser esperados em um ambiente industrial, um

fator de segurança é usualmente aplicado no cálculo do tamanho do captor e da velocidade mínima de controle, para assumir completa captação do ar poluído.

No caso de captor tipo coifa alta controlando emissão de superfícies plano-horizontais, uma simplificação pode ser feita assumindo um fator de segurança de 15%:

$$v_f = 8 \cdot (A_q)^{0,333} \cdot (t)^{0,417} \cdot (X_f)^{-0,25} \quad (6)$$

O diâmetro da coluna ascendente no plano da face do captor é determinado pela equação 1 e o captor deveria ser um pouco maior que a coluna, para a completa captura do ar contaminado. Recomenda-se aumentar o diâmetro do captor de um fator 0,8y. Neste caso, a vazão total para esse captor deve ser calculada pela fórmula:

$$Q_t = v_f \cdot A_c + \{v_r \cdot (A_f - A_c)\} \quad (7)$$

Sendo:

Q_t = vazão total no captor (pés³/min.);

v_f = velocidade da coluna de ar ascendente na face do captor (pés/min.);

A_c = a área da coluna de ar contaminado na face do captor (pé²)

v_r = a velocidade requerida na área restante do captor, $A_f - A_c$ (pés/min.)

A_f = a área total da face do captor (pé²)

O valor de v_r depende da movimentação do ar no ambiente (correntes de ar), altura do captor acima da fonte e toxicidade do poluente. O valor desta velocidade é usualmente tomada na faixa de 100 a 200 pés/min. (0,5 a 1 m/s).

Exemplo: calcular a vazão de exaustão e o diâmetro da coifa para ventilar um forno cadinho para fusão de zinco que possui 4 pés de diâmetro. A temperatura do metal é de 880°F. Por causa de interferências locais, o captor deve localizar-se a 10 pés acima do forno. A temperatura ambiente é de 80°F.

4.3.3. - CAPTOR TIPO COIFA RETANGULAR ALTA

O controle das emissões de fontes de formato não-circular poderá ser melhor conseguido por captor de forma similar à fonte. Uma fonte retangular requer um captor retangular. Um captor circular usado para controlar uma fonte retangular de emissão requer uma vazão excessiva.

De acordo com Danielson, a largura da coluna de ar ascendente (D_{cb}) pode ser calculada pela equação 1, utilizando-se X_f calculado pelas equações 2 e 3, sendo B a largura da fonte. Para o comprimento da coluna de ar ascendente (D_{cl}) assume-se que há um aumento na mesma proporção que o da largura, ou seja:

$$D_{cl} = L + (D_{cb} - b) \quad (8)$$

Sendo:

b = largura da fonte (pés)

D_{cb} = largura da coluna ascendente (pés)

L = comprimento da fonte quente (pés)

A coifa deverá ser maior que D_{cL} e D_{cb} por um fator 0,8y. Assim, as suas dimensões serão:

$$b_{coifa} = D_{cb} + 0,8y \quad (9)$$

$$L_{coifa} = D_{cL} + 0,8y \quad (10)$$

No restante, os cálculos são idênticos aos de coifa circular alta.

Exemplo: um forno de fusão de chumbo de 2 pés de altura, 6 polegadas de largura e 4 pés de comprimento deve ser servido por um captor tipo coifa alta a ser instalado a 8 pés acima da fonte. A temperatura do metal é de 700°F. A temperatura do ambiente é 80°F. Determinar as dimensões do captor e a vazão de ar requerida para controlar as emissões deste forno.

4.3.4. - CAPTOR TIPO COIFA CIRCULAR BAIXA

O projeto de captores tipo coifa baixa é algumas vezes diferente dos captores tipo coifa alta. Um captor pode ser considerado do tipo baixo quando a distância entre o captor e a fonte quente não exceder aproximadamente o diâmetro da fonte ou 3 pés. Uma distinção rígida entre captores tipo coifa alta não é determinada ou necessária. A distinção importante é que o captor seja bastante próximo da fonte e que ocorra uma mistura muito pequena entre a coluna de ar ascendente e o ar que circula.

O diâmetro da coluna de ar pode, entretanto, ser considerado essencialmente igual ao diâmetro da fonte quente. O captor necessita ser um pouco mais que a fonte para prevenir os efeitos de oscilação e flutuação devido às correntes de ar.

Quando a corrente de ar não é um sério problema, um aumento de 6 polegadas em todos os lados seria suficiente. O mais comum é utilizar 1 pé (30 cm) a mais que o diâmetro da fonte.

Para fontes retangulares, um captor retangular provido de 1 pé na largura e 1 pé no comprimento em relação a fonte seria suficiente. Sob condições mais severas de correntes ou emissões tóxicas, ou ambos, um fator de segurança maior seria requerido.

A vazão total de captação pode então ser determinada pelo rearranjo da equação de Hemeon e aplicando um fator de segurança de 15%:

$$Q_t = 4,7 \cdot (d_f)^{2,33} \cdot (\Delta t)^{0,417} \quad (11)$$

Onde:

Q_t = a vazão total do captor (pés³/min.)

d_f = o diâmetro do captor (pés)

Δt = a diferença entre a temperatura da fonte e o ambiente (°F)

Uma solução gráfica para a equação 11 é mostrada na Figura 4.4. Para uso do gráfico, seleciona-se uma coifa com diâmetro 1 ou 2 pés (30 a 60 cm) maior que a fonte. A vazão total requerida para este captor

é então lida diretamente do gráfico, cruzando-se o diâmetro da coifa com a diferença de temperatura entre a fonte e o ar ambiente.

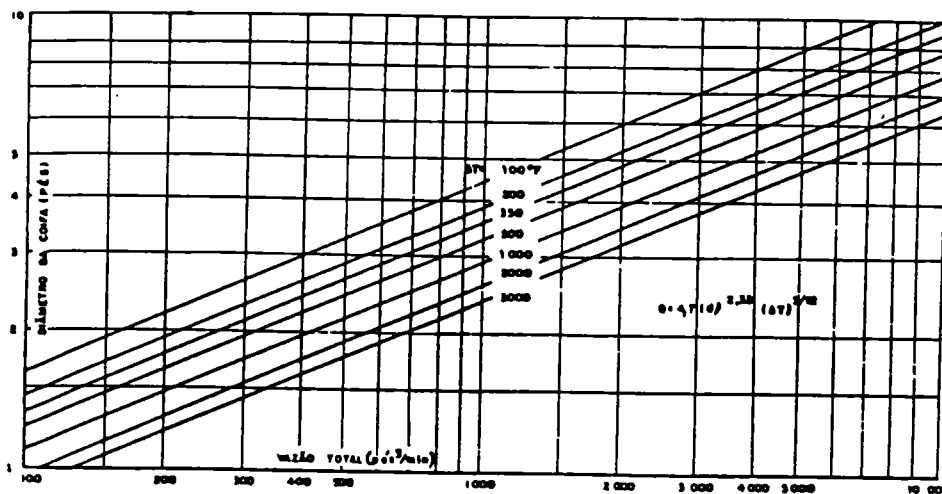


Figura 4.18. - Solução da equação 11

Exemplo: um captor tipo coifa baixa é para ser usado para captar as emissões durante a fluxagem e retirada de escória de bronze em um forno de diâmetro de 20 polegadas. A temperatura do metal durante esta operação não pode exceder 2350°F. O captor estará localizado a 24 polegadas acima da superfície do metal. A temperatura ambiente é 80°F. Dimensionar o captor.

4.3.5. - CAPTOR TIPO COIFA RETANGULAR BAIXA

De uma maneira semelhante, a equação de Hemeon para captores tipo coifa baixa pode ser modificada para aplicação em captores retangulares. Aplicando-se fator de segurança de 15% a equação será:

$$Q_t = 6,3 \cdot L \cdot (b)^3 \cdot (\Delta t)^{1,2} \quad (12)$$

Onde:

Q_t = a vazão total para um captor retangular (cfm)

L = o comprimento do captor retangular (pés)

b = a largura do captor retangular (pés)

Δt = a diferença de temperatura entre a fonte quente e a temperatura ambiente (°F)

O comprimento L e a largura b do captor são na prática, usualmente, 1 a 2 pés (33 a 66 cm) maiores do que o comprimento e a largura da fonte. A Figura 4.19 é uma solução gráfica da equação 12, que pode ser utilizada para determinar a vazão para captores tipo coifa retangular baixa servindo fontes quentes retangulares.

Exemplo: uma máquina de fundição de zinco possui 2 pés de largura e 3 pés de comprimento. Um captor tipo coifa baixa deve ser instalado a 30 polegadas acima da máquina. A temperatura do metal é 820°F. Temperatura do ar ambiente é de 90°F. Determinar as dimensões do captor e a vazão requerida.

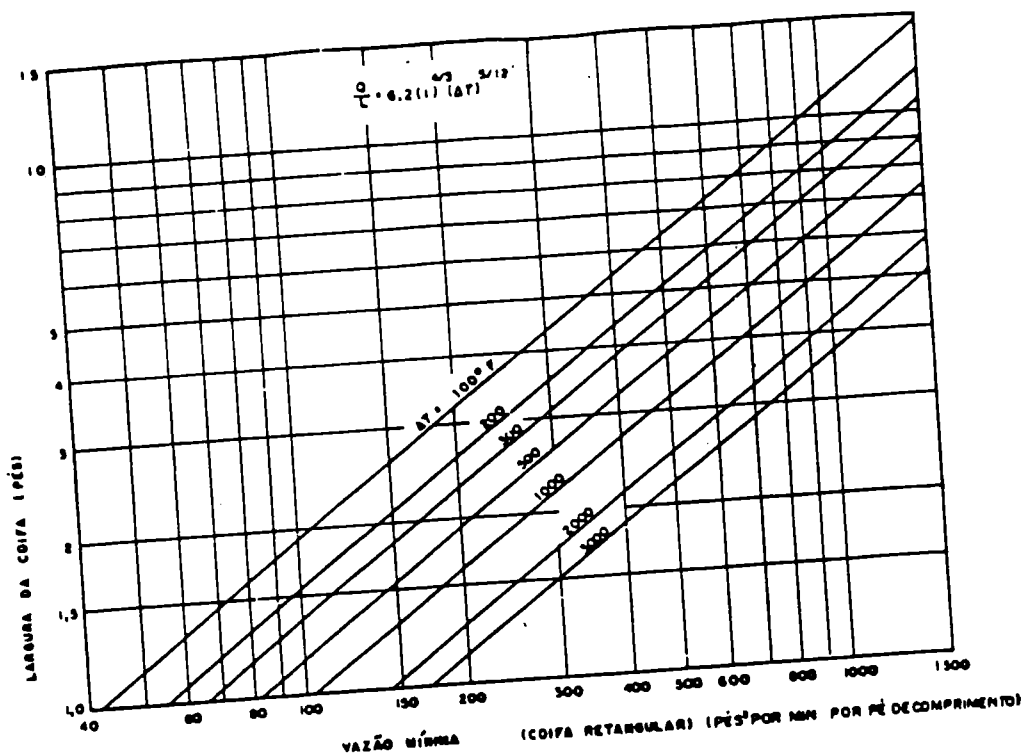


Figura 4.19. - Solução da equação 12

4.3.6. - DESVIO DE FLUXO VERTICAL POR CORRENTES DE AR CRUZADAS

A principal causa de insucesso na boa captação de fontes quentes, além do uso de vazões insuficientes, são as correntes transversais (horizontais) de ar que podem desviar a coluna de gases quentes da vertical. (Figura 4.20)

A ação das correntes transversais é mais séria quanto maior forem as distâncias entre a fonte e captor. Se o desvio for pequeno um captor suficientemente grande pode resolver o problema, porém sujeito a limitações de velocidade da face. O mesmo problema pode ocorrer em captores baixos, porém pode-se utilizar uma cortina lateral como anteparo para evitar a ação das correntes de ar transversais.

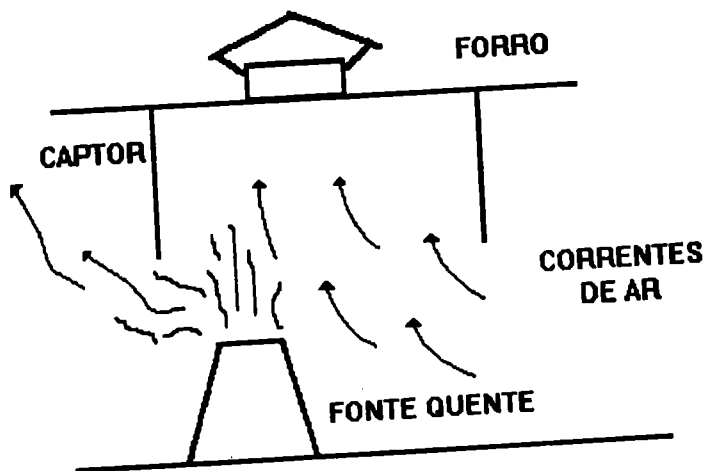


Figura 4.20 - Captação prejudicada por correntes de ar transversais

4.4. - CAPTAÇÃO PARA TANQUES

4.4.1. - INTRODUÇÃO

As operações de tratamento superficial, tais como desengraxe, decapagem, eletrodeposição, etc. envolvem tanques abertos onde são liberados gases, vapores ou névoas que, em sua maioria, necessitam ser retirados adequadamente do ambiente de trabalho, sendo a solução usual para essas fontes a instalação de sistemas de ventilação local exaustora, com ou sem equipamentos de controle de poluição do ar, dependendo do caso.

A captação dessas emissões pode ser feita por captosres tipo coifa, captosres enclausurantes ou captosres laterais, sendo que a escolha do tipo mais conveniente para uma determinada aplicação vai depender de fatores como forma de operação da fonte, toxicidade do poluente, taxa de evaporação do tanque e limitações de espaço. Em raríssimos casos pode-se aplicar somente a ventilação geral diluidora.

A metodologia utilizada pela ACGIH, subdivide os vários banhos em diversas classes determinadas com base no TLV do poluente (risco potencial) e na taxa de evaporação do líquido contido no tanque.

As Tabelas 4.5 e 4.6 são utilizadas para a determinação da classe específica e a Tabela 4.7 fornece a velocidade de controle para os diversos tipos de captosres.

TABELA 4.5 - DETERMINAÇÃO DO RISCO POTENCIAL

<i>Risco potencial</i>	<i>TLV - gases e vapores</i>	<i>TLV - névoas</i>	<i>Ponto de fulgor</i>
A	0 - 10 ppm	0 - 0,1 mg/m ³	-
B	11 - 100 ppm	0,11 - 1,0 mg/m ³	Abaixo de 40°C
C	101 - 500 ppm	1,1 - 10 mg/m ³	40 a 95°C
D	Acima de 500 ppm	Acima de 10 mg/m ³	Acima de 95°C

TABELA 4.6 - DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO

<i>Taxa</i>	<i>Temperatura do líquido (°C)</i>	<i>Graus abaixo do ponto de ebulição (°C)</i>	<i>Evaporação relativa (tempo para evaporar 100%)</i>	<i>Gaseificação</i>
1	> 91	0 - 14	Rápida (0,3 h)	Alta
2	65 - 90	15 - 34	Média (3 - 12 h)	Média
3	35 - 64	35 - 66	Lenta (12 - 50 h)	Baixa
4	< 35	Mais de 66	Praticamente nada (mais de 50 h)	Nenhuma

**TABELA 4.7. - MÍNIMA VELOCIDADE DE CONTROLE
PARA LOCAIS SEM CORRENTES CRUZADAS (PÉS/MIN.)**

<i>Classe</i>	<i>Captorens enclausurantes</i>		<i>Exaustão lateral (a)</i>	<i>Coifa</i>	
	<i>Um lado aberto</i>	<i>Dois lados abertos</i>		<i>Três lados abertos</i>	<i>Quatro lados abertos</i>
A-1 A-2 (b)	100	150	150	Não usar	Não usar
A - 3 (b) B - 1; B - 2; C - 1	75	100	100	125	175
B - 3; C - 2; D - 1 (c)	65	90	75	100	150
A - 4 (b) C - 3	50	75	50	75	125
B - 4 C - 4; D - 3 (c) D - 4	Apenas ventilação diluidora é suficiente				

- A) use W/L para prosseguir cálculo na Tabela 4.8;
- B) não use coifa para risco potencial A;
- C) para controle total de água quente, use a classe seguinte.

TABELA 4.8. - MÍNIMA VAZÃO DE CONTROLE PARA EXAUSTÃO LATERAL (PÉS ³ /MIN./PÉ ² DE TANQUE)						
Classe	Mínima velocidade controle (pés/min.) (Tabela 4.7.)	$\frac{W \text{ (largura do tanque)}}{L \text{ (comprimento do tanque)}}$				
		0-0,09	0,1-0,24	0,25-0,49	0,5-0,99	1,0-2,0
I	50	50	60	75	90	100
	75	75	90	110	130	150
	100	100	125	150	175	200
	150	150	190	225	260	300
II	50	75	90	100	110	125
	75	110	130	150	170	190
	100	150	175	200	225	250
	150	225	260	300	340	375

- **Caso I:** Captor ao longo de um lado ou dois lados paralelos do tanques quando um captor está contra uma parede ou barreira. Também para o captor ao longo da linha de centro do tanque.
- **Caso II:** Captor ao longo de um lado ou de dois lados paralelos de um tanque livre, sem estar contra uma parede ou barreira.

Nota: use $W/2$ como largura do tanque quando o captor será ao longo da linha de centro do tanque ou para exaustão lateral nos dois lados do tanque.

Observação: $1 \text{ pé}^3/\text{min.}/\text{pé}^2 = 18,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

TABELA 4.9. - MÍNIMA VELOCIDADE DE CONTROLE PARA LOCAIS SEM CORRENTES CRUZADAS - EXAUSTÃO LATERAL (PÉS/MIN.)

<i>Operação</i>	<i>Contaminante</i>	<i>Risco*</i>	<i>Evolução</i>	<i>Velocidade (pés/min.)</i>	<i>Equipamento de Controle**</i>
Abrilhamento de alumínio	Ácidos nítrico e sulfúrico	A	1	150	Sim
	Ácidos nítrico e fosfórico	A	1	150	Sim
Anodização de alumínio	Ácidos crômico e sulfúrico	A	1	150	Sim
Eletro deposição	Ácido crômico	A	1	150	Sim
	Névoa de cianeto	C	2	75	Sim
Limpeza alcalina	Névoas alcalinas	C	1	100	Sim
Enxágue com água quente ou fervendo	Vapor d'água quente	D	2	50	Não
	Vapor d'água fervente	D	1	75	Não
Remoção de película de cobre	Névoa alcalina e cianeto	C	2	75	Sim
Remoção de película de níquel	Óxido nítrico	A	1	150	Sim
Decapagem de aço	Ácido clorídrico	A	2	150	Sim
	Ácido sulfúrico	B	1	100	Sim
Banho em sais fundidos	Névoas alcalinas	C	1	100	Sim

4.4.2. - CAPTOR TIPO COIFA

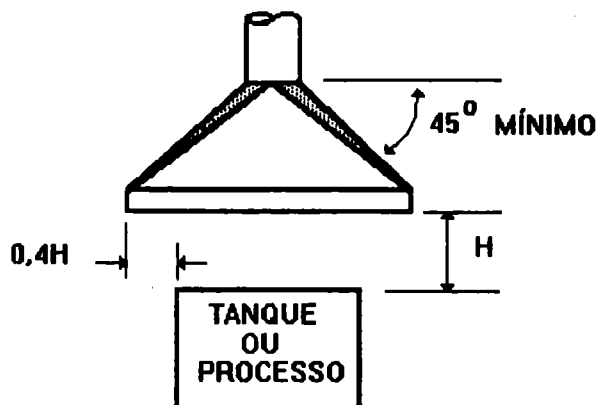
Quando os contaminantes não são tóxicos ou quando o operador não tem necessidade de se curvar diante dos tanques, o captor tipo coifa (Figura 4.21.) é frequentemente escolhido, especialmente quando estão envolvidos processos a quente que favoreçam a captação, uma vez que produzem fluxos ascendentes.

* Ver dados recentes de toxicidade (TLV).

** Verificar as normas locais.

A performance de captação deste captor é prejudicada quando há corrente de ar cruzada, distância muito grande entre a fonte e a face do captor que irá acarretar maior volume de ar a ser exaurido e necessidade de manusear as peças através de monotrilhos e guindastes, tornando muitas vezes inviável a sua utilização.

A vazão pode ser determinada com base na fórmula prática recomendada pela ACGIH, ou seja, $Q = 1,4 \cdot P \cdot H \cdot V_c$, sendo que a velocidade V_c é obtida da Tabela 4.4., devendo ser aplicada a devida correção para locais com correntes cruzadas.



Não deve ser utilizado quando o material é muito tóxico e o operário precisa curvar-se sobre o tanque.

Fórmula da vazão:

$$Q = 1,4 PVH$$

Onde P é o perímetro do tanque e V é a velocidade de captura

Perda de entrada:

$$\Delta P_e = 0,25 \cdot P_c$$

Figura 4.21 - Captor tipo coifa

4.4.3. - CAPTOR ENCLAUSURANTE

O uso de captores enclausurantes em tanques deve ser feito sempre que possível. No entanto, em muitos casos isso torna a operação mais difícil. Deve-se manter, em qualquer abertura do enclausuramento, velocidade não inferior 50 pés/min. (0,25 m/s) e chegando até 150 pés/min. (0,76 m/s) dependendo do risco potencial, taxa de evaporação e quantidade de lados abertos. A vazão pode ser calculada pela fórmula $Q = A \cdot v_c$ sendo A a área aberta do captor e v_c a velocidade de controle, obtida da Tabela 4.4.

4.4.4. - CAPTOR LATERAL

A captação lateral (Figuras 4.22. a 4.25.) elimina a interferência na operação realizada no tanque uma vez que, no caso dos captores laterais, a superfície do tanque estaria livre para a movimentação manual ou mecânica das peças. Além disso, a captação lateral proporciona maior proteção ao operador pois o ar limpo passa primeiro por este, em seguida arrasta os poluentes e os conduz para o captor.

Uma restrição quanto a utilização deste tipo de captor é quanto as dimensões do tanque. Tanques com largura maior que 48 polegadas (1,2 m) necessitam de ventilação tipo sopro-exaustão (sistema *push-pull*).

A vazão de ar a ser exaurida em captores laterais é função não só do risco potencial e taxa de evaporação do tanque, mas também da relação largura/comprimento do tanque (W/L). Determinada a classe do tanque, pelas Tabelas 4.2. e 4.3., determina-se então a velocidade de controle através da Tabela 4.4. A vazão de ar requerida por unidade de área superficial do tanque é feita então pelo uso da Tabela 4.5. A vazão total para o tanque específico é calculada por:

$$Q = Q_U \cdot A_{ST}$$

Sendo:

Q = vazão total requerida (pés³/min.)

Q_U = vazão por unidade de área superficial do tanque (pés³/min./pé²)

A_{ST} = área da superfície superior do tanque (pés²)

4.4.5. - SISTEMA PUSH-PULL (SOPRO-EXAUSTÃO)

Para tanques largos, melhor controle de emissões tem sido conseguido através do uso da combinação de jatos de ar de um lado e exaustão no lado do tanque. Esta combinação é denominada de "Sistema Sopro-Exaustão" ou "Sistema *Push-Pull*" (Figura 4.26), onde o jato de ar ajuda a conduzir as emissões para o captor. Tanto o jato de ar como o captor estendem-se ao longo de todo o comprimento do tanque.

A eficiência do jato de ar é função do momento, que pode ser determinado pelo produto da vazão de ar soprado pelo bico (Q_j) e a velocidade de saída do mesmo (v_j). Para jatos usados em tanques ou outros recipientes de superfície aberta, o fluxo de ar soprado pode ser determinado por:

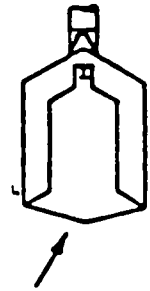
$$Q_j = \frac{243}{\sqrt{A_j}}$$

Sendo:

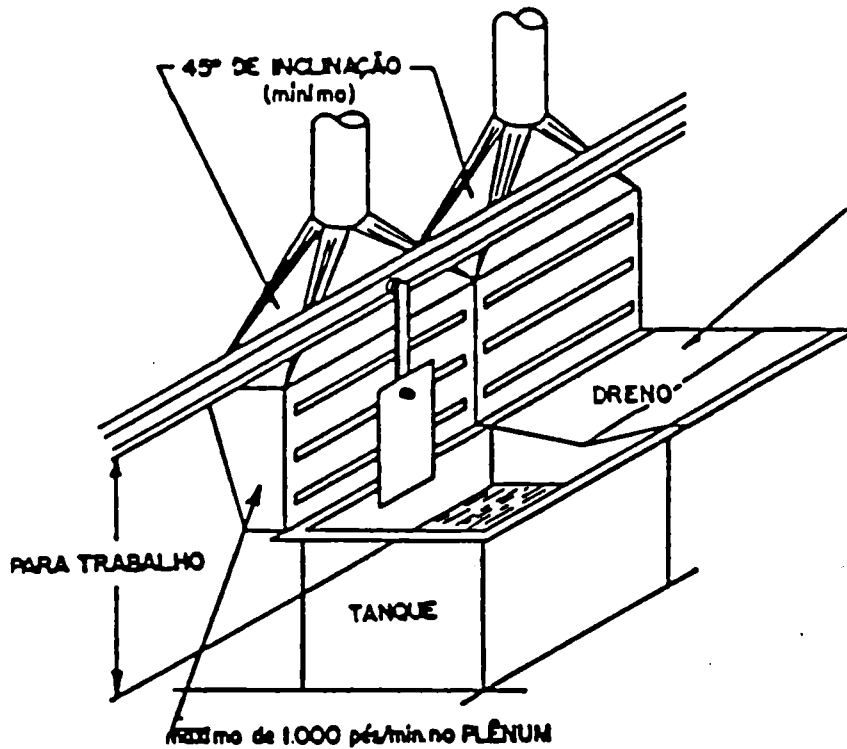
Q_j = vazão do ar soprado (pés³/min./pé de comprimento do pleno de sopro)

A_j = Área de sopro (pés²/pé de comprimento do plenum do sopro)

Tomadas a 15 pés do centro
 $Q = 50$ pés/min. por pé de área do dreno, mas não menos de 100 pés/min. nas aberturas
 $\Delta P_e = 0,25$ Vpd
 $V_d = 1000 - 3000$ pés/min.



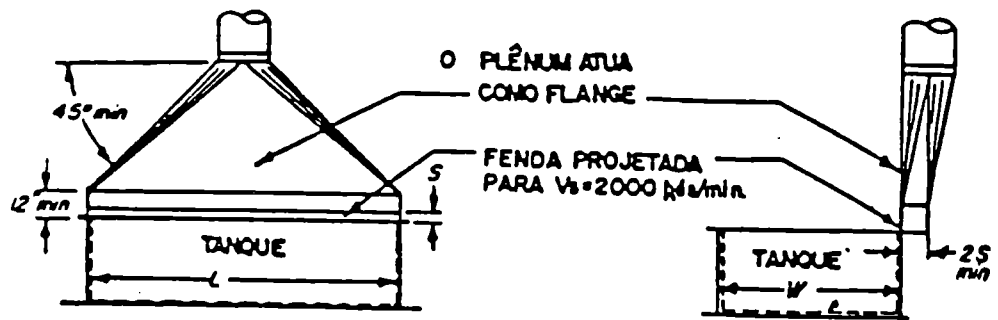
Para melhores resultados, enclausurar o dreno como túnel.



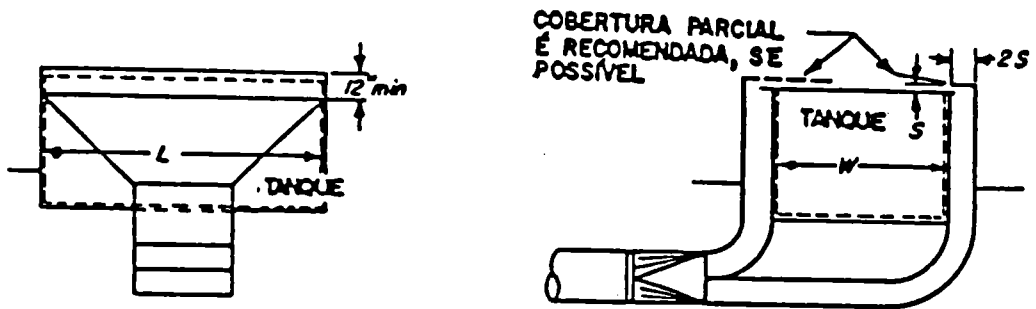
$Q = 125$ pés³/min./pés² de área de tanque e dreno
 $V_s = 2000$ pés/min.
 $\Delta P_e = 1,78$ VPs + 0,25 Vpd
 $V_d = 1000 - 3000$ pés/min.

<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>	
TANQUE DE IMERSÃO RÁPIDA	
Data: 1-70	VS-502

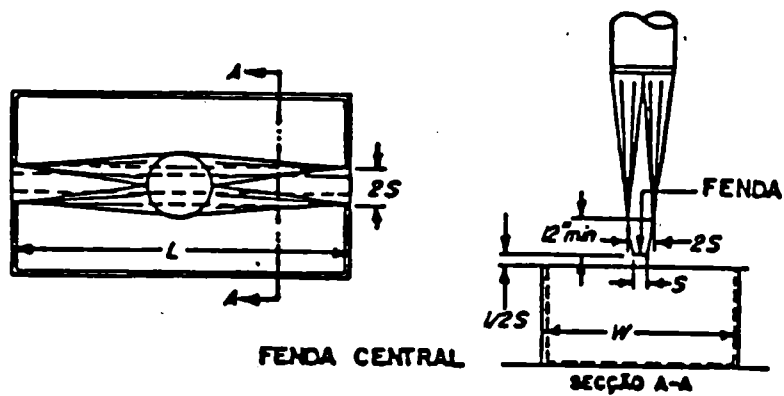
Figura 4.22. - Tanques de imersão rápida



Plenum para cima

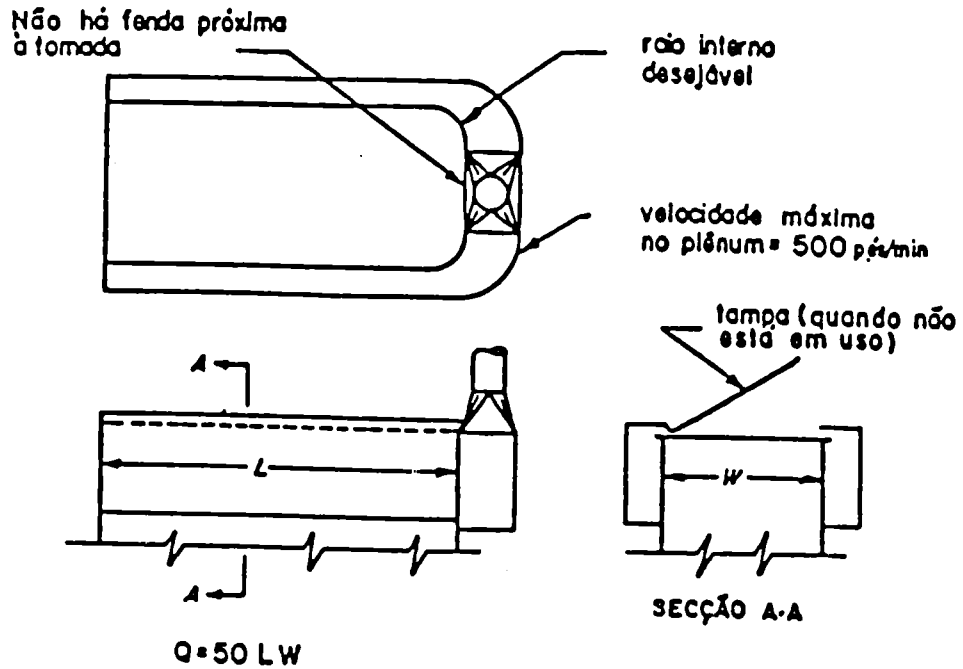


Plenum para baixo



American Conference of Governmental Industrial Hygienists	
TANQUES ABERTOS	
Data: 1-64	VS-503

Figura 4.23. - Tanques abertos



$V_s = 1000$ pés/min. máximo

$\Delta P_E = 1,78$

$V_{ps} \rightarrow 0,25 V_{pd}$

$V_d = 2500 - 3000$ pés/min.

- Prever:**
1. Tiragem separada para produtos de combustão, se houver.
 2. Respirador na linha de ar, para limpeza.

Nota: Providencie aspiração por grelha inferior para partes que não podem ser removidas secas.

$Q = 50$ cfm/pé² de área de grelha

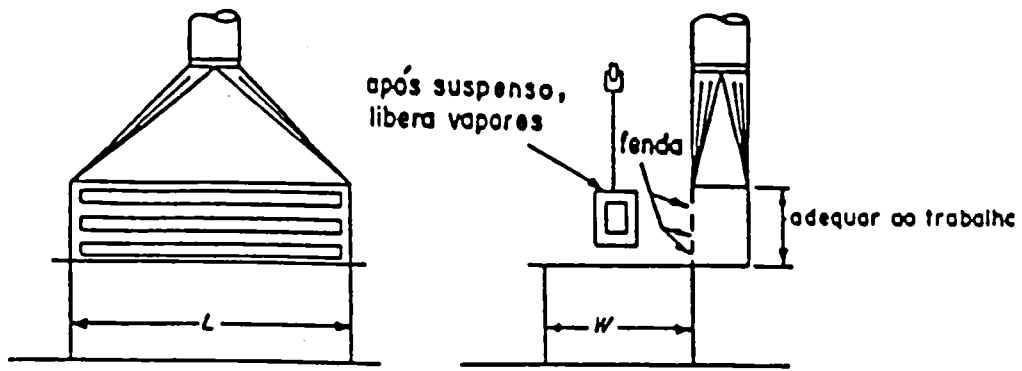
*American Conference of
Governmental Industrial Hygienists*

TANQUES DE DESENGRAXE

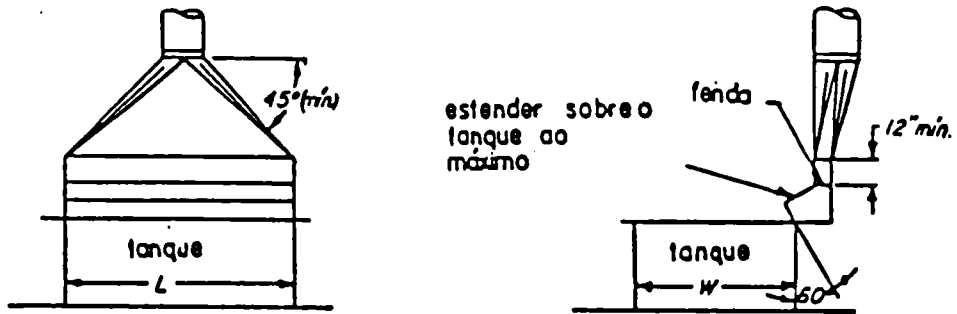
Data: 1-70

VS-501

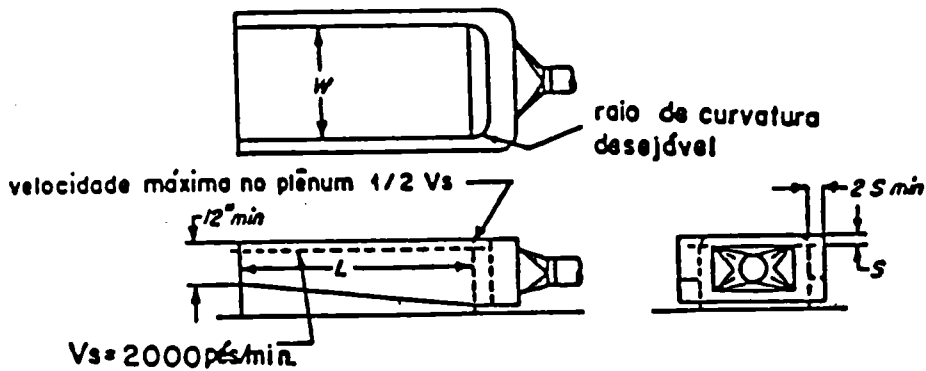
Figura 4.24. - Tanques de desengraxe



Tanques de decapagem



Semilateral



Tomada traseira

American Conference of Governmental Industrial Hygienists	
TANQUES ABERTOS	
Data: 1-66	VS-504

Figura 4.25. - Tanques abertos

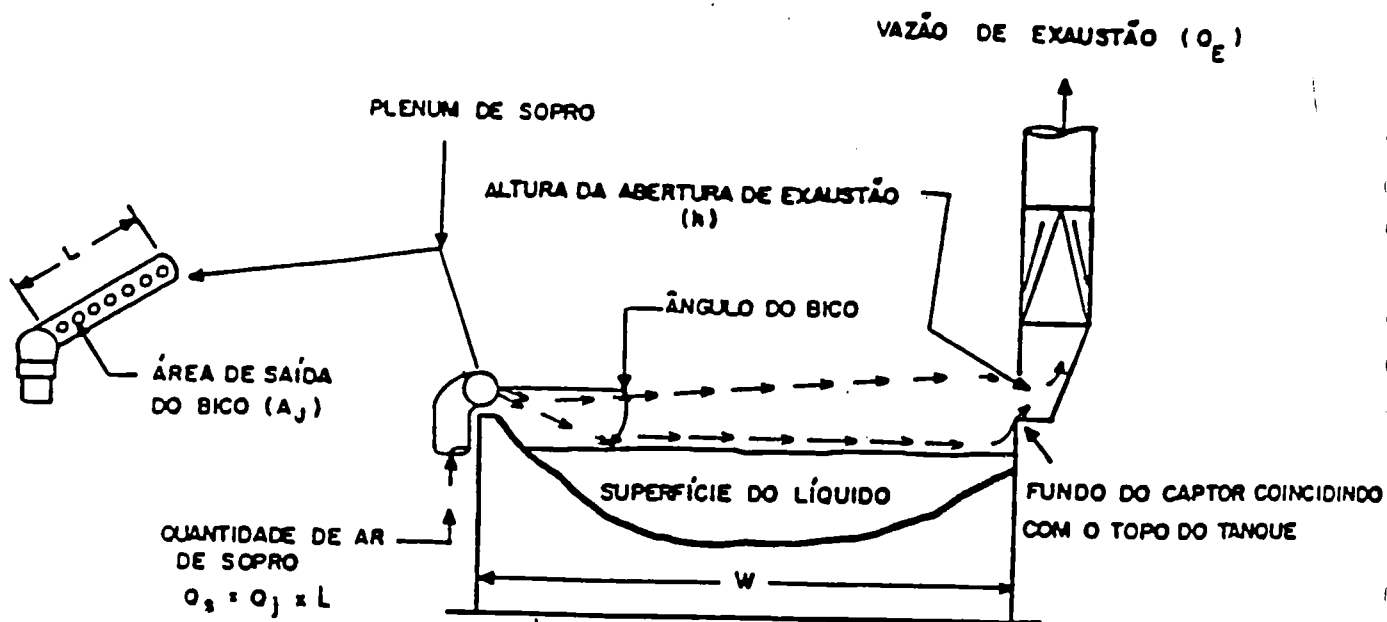


Figura 4.26 - Ventilação push-pull

Usando a fórmula acima, o bico de sopro é selecionado em primeiro lugar para então determinar a área de saída do bico (A_j). A seção transversal do plenum pode ser circular, retangular ou quadrada. O bico pode ser tipo fenda horizontal de 1/8 (3,17 mm) a 1/4 (6,35 mm) ou de furos de 1/4 (6,35 mm) de diâmetro, espaçados entre si de 3 a 8 diâmetros do furo.

É importante que o fluxo de ar esteja distribuído ao longo do comprimento do plenum. Para conseguir isto, a área total de saída não pode exceder 33% da área da seção transversal. O bico de sopro deverá estar localizado o mais próximo possível da borda do recipiente.

O eixo do bico pode ter uma inclinação para baixo de no máximo de 20 graus, para que o jato limpe as obstruções e se mantenha sobre a superfície do recipiente. É essencial que não haja aberturas entre o bico e o tanque.

Um fluxo de exaustão de 75 pés³/min./pés² (1350 m³/h/m²) de a área do tanque é adequado para capturar e remover o jato de sopro. A abertura (h) do captor de exaustão deverá ser 0,14 vezes a distância do bico até o captor (0,14W). Se múltiplas fendas forem utilizadas, estas deverão estar localizadas dentro da altura de 0,14 W. O captor com flange é usado na prática.

O captor de exaustão deve ser localizado na borda do tanque e não deverá deixar espaço entre este e o captor.

Em alguns casos, a forma do tanque, localização da sala, correntes de ar etc., podem requerer condições de ajuste da vazão do fluxo de sopro e a exaustão para obter um controle efetivo. Velocidades de corrente de ar acima de 75 pés/min. (0,38 m/s) ou tanques muito largos, acima de 8 pés (2,4 m) podem necessitar aumento na vazão de sopro ou exaustão da ordem de 20%.

4.4.6. - RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

As principais recomendações para o projeto de sistemas de ventilação de tanques são:

- A) velocidade nos dutos = 2000 pés/min. (10,2 m/s);
- B) perda de carga na entrada do captor $\Delta P_e = 1,78 \cdot P_{c_f} + 0,25 \cdot P_{c_d}$, sendo P_{c_f} a pressão cinética na fenda e P_{c_d} a pressão cinética no duto logo após o captor;
- C) máxima velocidade no plenum = metade da velocidade na fenda;
- D) velocidade na fenda = 2000 pés/min. (10,2 m/s)
- E) se o comprimento do tanque (L) for maior que 6 pés (1,8 m), é desejável usar várias tomadas ao longo do comprimento;
- F) se o comprimento do tanque (L) for maior ou igual a 10 pés (3 m) é necessário usar várias tomadas ao longo do comprimento;
- G) com referência à largura (W) do tanque recomenda-se:
 - W até 20 polegadas (0,5 m): é suficiente o uso de fendas em um lado;
 - W de 20 pol (0,5 m) a 36 polegadas (0,9 m): é desejável fenda nos 2 lados do tanque;
 - W de 36 pol (0,9 m) a 48 polegadas (1,2 m): é necessário usar fenda nos 2 lados;
 - W maior que 48 polegadas (1,2 m): enclausurar ou usar sopro-exaustão;
- H) não é praticável ventilar através da dimensão L do tanque quando $W/L > 2$ e dever ser evitada quando $W/L > 1$;
- I) o nível do líquido no tanque deve estar pelo menos 6 polegadas (15 cm) abaixo da base da fenda;
- J) os dutos devem ser revestidos, se necessário, de material anticorrosivo e ter portas de limpeza e drenagem;
- K) sempre que possível, deve-se utilizar anteparos para reduzir o efeito de correntes cruzadas.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Um tanque de decapagem de peças de aço deve ser provido com ventilação local e exaustora. Calcular a vazão para cada um dos tipos de captos possíveis.

Dados:

- agente decapante: ácido sulfúrico (H_2SO_4)
- TLV do $H_2SO_4 = 1 \text{ mg/m}^3$ (névoa)
- taxa de evaporação = 1

- dimensões do tanque = 0,5 m x 1 m x 1 m

Resolução:

A) Transformação de Unidades

1 metro = 3,28 pés, portanto:

W = largura do tanque = 0,5m x 3,28 pés/m = 1,64 pés

L = comprimento do tanque = 1 m x 3,28 pés/m = 3,28 pés

H = altura do tanque = 1 m x 3,28 pés/m = 3,28 pés

B) Determinação da Classe do Banho

- risco potencial

Sendo TLV = 1 mg/m³ (névoa), da Tabela 4.5, tem-se Risco Potencial B.

- taxa de evaporação

Dado: Taxa de evaporação = 1

- Classe do banho: B1

C) Determinação das velocidades de controle (v_c)

Da Tabela 4.7 tem-se as velocidades de controle para os diversos tipos de captores:

<i>Tipo de Captor</i>	v_c (pés/min.)	v_c (m/s)
Enclausurante, 1 lado aberto	75	0,38
Enclausurante, 2 lados abertos	100	0,51
Exaustão lateral	100	0,51
Coifa, 3 lados abertos	125	0,64
Coifa, 4 lados abertos	175	0,89

D) Cálculo da vazão para captor enclausurante

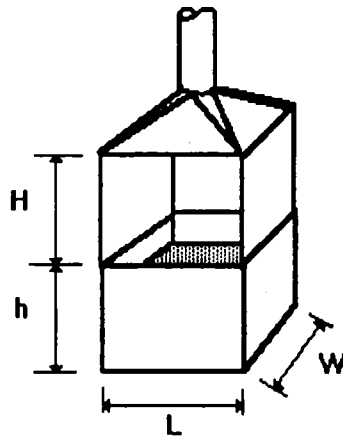
Enclausurante com 1 lado aberto

$$Q_1 = A_1 \times v_c$$

Considerando a altura da abertura do enclausuramento igual a 0,8 m (2,624 pés) tem-se:

$$Q_1 = (L \cdot h) \cdot v_c = 3,28 \times 2,624 \times 75 = 646 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

$$Q_1 = 646 \text{ pés}^3/\text{min.}$$



Enclausurante com 2 lados abertos

$$Q_2 = A_2 \times v_c$$

Considerando o lado oposto aberto, tem-se:

$$Q_2 = 2 \cdot (L \cdot h) \cdot v_c = 2 \times (3,28 \times 2,624) \times 100 = 1721 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

$$Q_2 = 1721 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

E) Cálculo da vazão para exaustão lateral

Para o cálculo da vazão para exaustão lateral temos que recorrer à Tabela 4.8.

Sendo $W = 0,5 \text{ m} = 19.685 \text{ pol} (< 20 \text{ pol})$, podemos utilizar a captação por um lado do tanque. Considerando tanque livre (sem estar contra uma parede ou barreira), tem-se:

Com $v_c = 100 \text{ pés}/\text{min.}$ e $W/L = 0,5\text{m}/1\text{m} = 0,5$, obtém-se da Tabela 4.8 a vazão por pé^2 de área do tanque:

$$Q_{3u} = 225 \text{ pés}^3/\text{min.}/\text{pé}^2 \text{ de tanque}$$

A área superficial do tanque (A_s) é:

$$A_{st} = 1,64 \times 3,28 = 5,38 \text{ pés}^2$$

Portanto: $Q_3 = 225 \times 5,38 = 1210 \text{ pés}^3/\text{min.}$

$$Q_3 = 1210 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

F) Cálculo da vazão para captor tipo de coifa

Coifa com 3 lados abertos (assumindo um lado da dimensão L fechado)

$$Q_4 = 1,4 (2 W + L) \cdot h \cdot V_c = 1,4 (2 \times 1,64 + 3,28) \times 2,624 \times 125 = 3012 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

$$Q_4 = 3012 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

Coifa, com 4 lados abertos

$$Q_5 = 1,4 P \cdot h \cdot v_c P = (2 W + 2 L) = 9,84 \text{ pés}$$

$$Q_5 = 1,4 \times 9,84 \times 2,624 \times 175 = 6236 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

$$Q_5 = 6236 \text{ pés}^3/\text{min.}$$

H) Resumo:

<i>Tipo de Captor</i>	<i>V_c (fpm)</i>	<i>Vazão (cfm)</i>
Enclausurante, 1 lado aberto	75	646
Enclausurante, 2 lados abertos	100	1721
Coifa, 3 lados abertos	125	3012
Coifa, 4 lados abertos	175	6326
Exaustão lateral	100	1210

CAPÍTULO 5 - VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA - SISTEMA DE DUTOS

5.1. - TRANSPORTE DOS POLUENTES

O transporte dos poluentes, através dos dutos do sistema, depende da velocidade do ar na tubulação. Para poluentes gasosos a velocidade tem pouca importância, uma vez que não ocorre sedimentação na tubulação mesmo para velocidades baixas. Neste caso, são utilizadas velocidades na faixa econômica, usualmente entre 5 e 10 m/s.

No caso de poluentes na forma de partículas, é importante manter a velocidade mínima de transporte para que não ocorra sedimentação nos dutos. Essa velocidade varia de acordo com a densidade e granulometria das partículas. Os valores usuais estão mostrados na Tabela 5.1.

TABELA 5.1. VELOCIDADE DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS EM DUTOS	
<i>Tipo de partícula</i>	<i>Velocidade mínima (m/s)</i>
1. <i>Partículas de densidade baixa.</i> <i>Exemplo:</i> fumaça, fumos de óxidos de zinco, fumos de alumínio, pó de algodão.	10
2. <i>Partículas de densidade média.</i> <i>Exemplo:</i> cereais, pó de madeira, pó de plástico, pó de borracha.	15
3. <i>Partículas de densidade média/alta.</i> <i>Exemplo:</i> fumos metálicos, poeira de jateamento de areia e de esmerilhamento.	20
4. <i>Partículas de densidade alta.</i> <i>Exemplo:</i> fumos de chumbo, poeiras de fundição de ferro.	25

A velocidade no duto tem também influência na perda de carga do sistema ou seja, na energia requerida para o fluido percorrer o sistema de dutos. Quanto maior a velocidade maior será a perda de carga e maior a potência exigida do ventilador.

Dessa forma, é conveniente, do ponto de vista econômico, que a velocidade fique próxima e acima da velocidade mínima de transporte requerida para o caso específico, de forma a atender ambos os objetivos, a não ser em pequenos trechos por razões específicas (restrição de espaço, balanceamento de tramos etc.), mas nunca abaixo da mínima velocidade requerida para o caso específico.

Portas de inspeção são necessárias nas tubulações em intervalos de pelo menos 3 metros e junto às singularidades de maior probabilidade de deposição de pó.

5.2. - DIMENSIONAMENTO DOS DUTOS

No sistema de ventilação local exaustora, dimensionar o sistema de dutos significa determinar a área da secção transversal do duto (A_d), pela qual passa a vazão (Q) requerida, a uma dada velocidade (v_t) desejável.

Assim sendo, a equação básica relacionando estes três parâmetros é expressa por:

$$A = \frac{Q}{v_t}$$

Se o duto for circular, o diâmetro pode ser determinado pela equação:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_d}{3,14}}$$

Se o duto for retangular de lados a e b tem-se:

$$A = a \cdot b, \text{ ou seja, } a \cdot b = \frac{Q}{v_t}$$

Deve-se ressaltar que a vazão (Q) dos gases é aquela vazão necessária para garantir a captação dos poluentes no(s) captor (es) e a velocidade (v_t) é a velocidade mínima de transporte das partículas apresentadas na Tabela 5.1 ou na faixa econômica de 5 a 10 m/s para poluentes gasosos.

5.3. - REQUISITOS DE ENERGIA NO SISTEMA DE DUTOS

A) *Dutos retos*: em trechos de dutos retos, as perdas de energia são causadas pelo atrito nas paredes internas e podem ser calculadas por:

$$\Delta P_L = \frac{0,5 \cdot f \cdot L \cdot v^2 \cdot d_f}{D}$$

Sendo ΔP_L a perda de carga nos trechos retos de comprimento L , com diâmetro d por onde passam os gases à velocidade v ; f é o coeficiente de atrito que depende da rugosidade das paredes internas do duto e d_f a densidade dos gases. O coeficiente de atrito pode ser obtido através do Diagrama de Moody, tendo como base a rugosidade do duto e o número de Reynolds para a condição específica.

Na prática, a perda de carga é determinada com auxílio de ábacos construídos para um comprimento padronizado (1 metro ou 100 pés), tipo de material de duto e condição do ar pré-fixados (chapa de aço galvanizada e ar padrão a 21°C e 1 atm de pressão, ou seja, ar com densidade de 1,2 kg/m³), conforme mostrado na Figura 5.1. Quando a densidade do fluido e/ou a rugosidade diferirem significativamente das condições estabelecidas é importante fazer as correções devidas.

5.4. - SINGULARIDADES

Singularidade é qualquer elemento do sistema que causa distúrbio no fluxo de ar, como por exemplo os cotovelos, junções, contrações, expansões, etc. As singularidades representam pontos de perda de carga

localizada. Todos esses elementos devem ser projetados, de preferência, como regra geral, na geometria que ocasione a menor perda de carga possível.

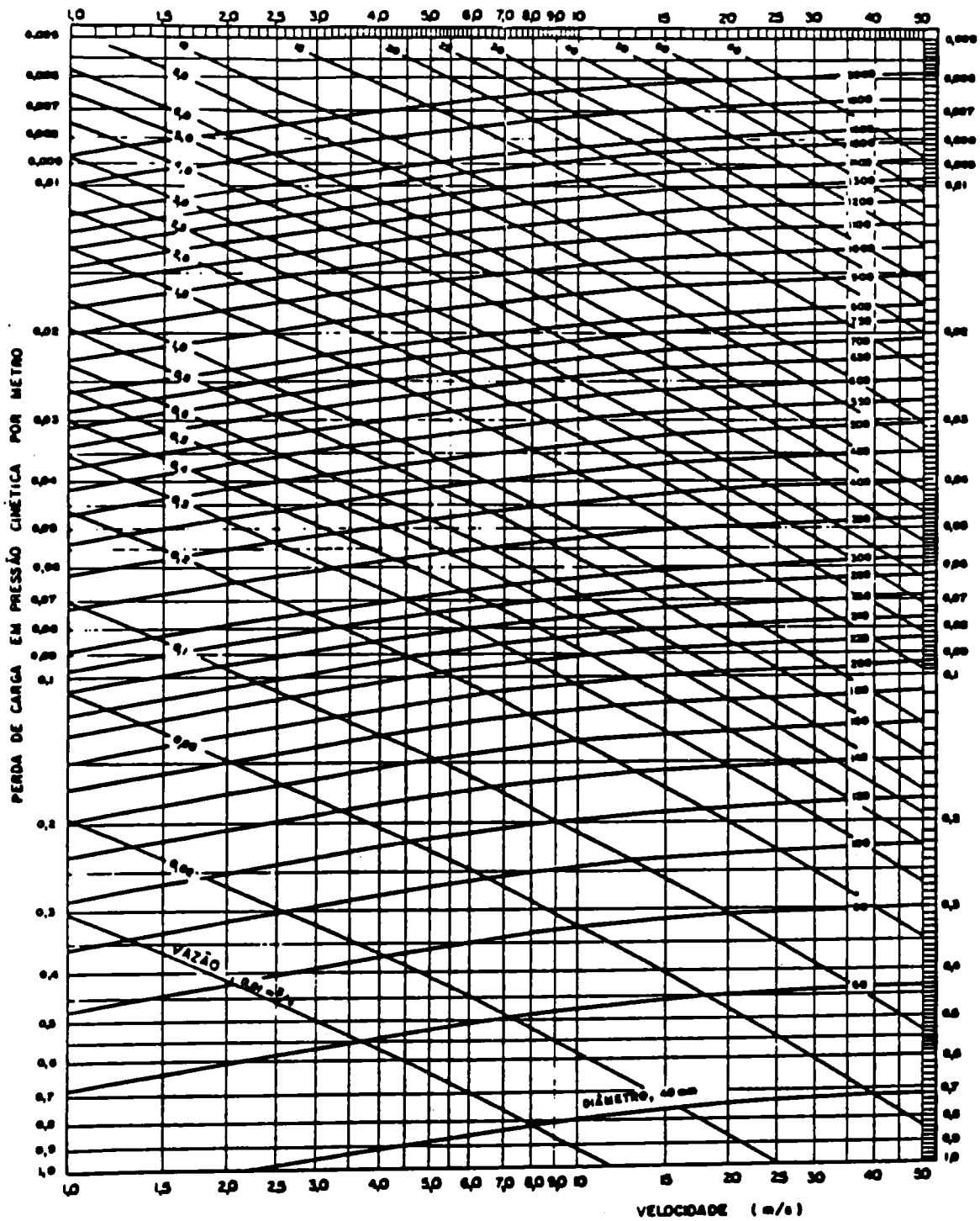


Figura 5.1. - Perda de carga em dutos retos

Por exemplo, os cotovelos deveriam ser de raio de curvatura igual a 2,5 D; as junções deveriam possuir ângulo de entrada máximo de 30 graus; as contrações e expansões deveriam ser suaves etc.

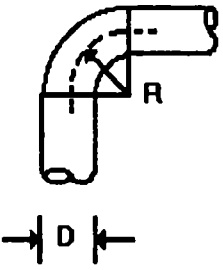
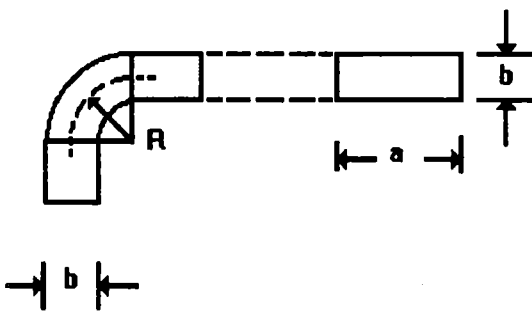
Deve-se ressaltar que os sistemas projetados com singularidades fora das recomendações acima podem funcionar bem apesar de que às custas de maior potência e em consequência, com custo operacional mais elevado. Muitas vezes a disponibilidade do mercado conduz à utilização de singularidades de maior perda de carga.

As perdas das cargas em singularidades são baseadas em dados práticos, onde geralmente elas são expressas em fração da pressão cinética no duto (Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4) ou em comprimento equivalente em duto reto.

COTOVELO

A perda de carga em cotovelos depende basicamente do raio de curvatura, da forma do duto e do ângulo de mudanças de direção. A Tabela 5.2 fornece as perdas de carga em cotovelos de 90° com seções transversais circulares e retangulares em fração da pressão cinética no duto para vários valores de raio de curvatura. Para cotovelos com mudanças de direção diferentes de 90°, calcula-se a perda para cotovelo de 90°, multiplicando-se o valor pelo fator de correção constante da mesma tabela.

TABELA 5.2. - PERDA DE CARGA EM COTOVELOS

<i>Cotovelo circular</i>		<i>Cotovelo retangular</i>						
								
<i>R/D</i>	<i>Perda em fração de P_c (Kcot)</i>	<i>R/b</i>	<i>Perda em fração de P_c (Kcot)</i>					
			<i>a/b</i>					
			<i>0,25</i>	<i>0,5</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
2,75	0,26	0,0	1,50	1,32	1,15	1,04	0,92	0,86
2,50	0,22	0,5	1,36	1,21	1,05	0,95	0,84	0,79
2,25	0,26	1,0	0,45	0,28	0,21	0,21	0,20	0,19
2,00	0,27	1,5	0,28	0,18	0,13	0,13	0,12	0,12
1,75	0,32	2,0	0,24	0,15	0,11	0,11	0,10	0,10
1,50	0,39	3,0	0,24	0,15	0,11	0,11	0,10	0,10
1,25	0,55							
<i>Fator de correção para ângulos diferentes de 90</i>		<i>Ângulo</i>		<i>120</i>	<i>60</i>	<i>45</i>	<i>30</i>	
		<i>Fator de correção</i>		1,22	0,67	0,50	0,33	

JUNÇÕES

A perda de carga nas junções varia em função do ângulo de entrada do tramo secundário, para o qual é debitada a respectiva perda, de acordo com os valores fornecidos pela Tabela 5.3, em fração da pressão cinética (PC) do duto.

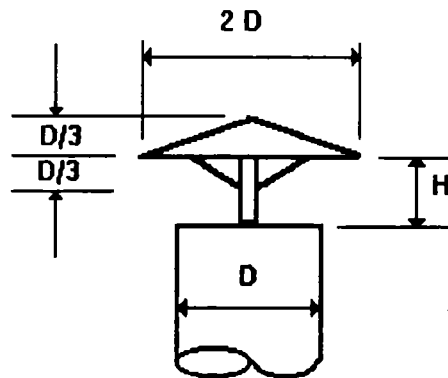
TABELA 5.3 - PERDA DE CARGA EM JUNÇÕES	
Ângulo	Perda em fração de P_c (K_j)
10	0,06
15	0,09
20	0,12
25	0,15
30	0,18
35	0,21
40	0,25
45	0,28
50	0,32
60	0,44
90	1,00

CHAPÉUS (SAÍDA DE CHAMINÉ)

A Tabela 5.4 apresenta as perdas de cargas em chapéus (tipo chinês) para diferentes valores da altura (H) para saída dos gases, relacionadas com o diâmetro da chaminé (D). Nota: o chapéu só deve ser uti-

lizado em casos onde a dispersão da emissão residual não for necessária, pois o chapéu prejudica a boa dispersão dos gases e partículas contidos no fluxo.

TABELA 5.4. PERDA DE CARGA EM CHAPÉUS



<i>H/D</i>	<i>Perda em função de P_c (Kch)</i>
1,00	0,10
0,75	0,18
0,70	0,22
0,65	0,30
0,60	0,41
0,55	0,56
0,50	0,73
0,45	1,00

5.5. - BALANCEAMENTO DE TRAMOS

O termo "balanceamento de tramos" significa o procedimento para atingir o equilíbrio de pressões estáticas em pontos de junção de tubulações, de forma a conseguir em cada um dos tramos as vazões de exaustão requeridas. Considere os dois tramos mostrados na Figura 5.2 abaixo.

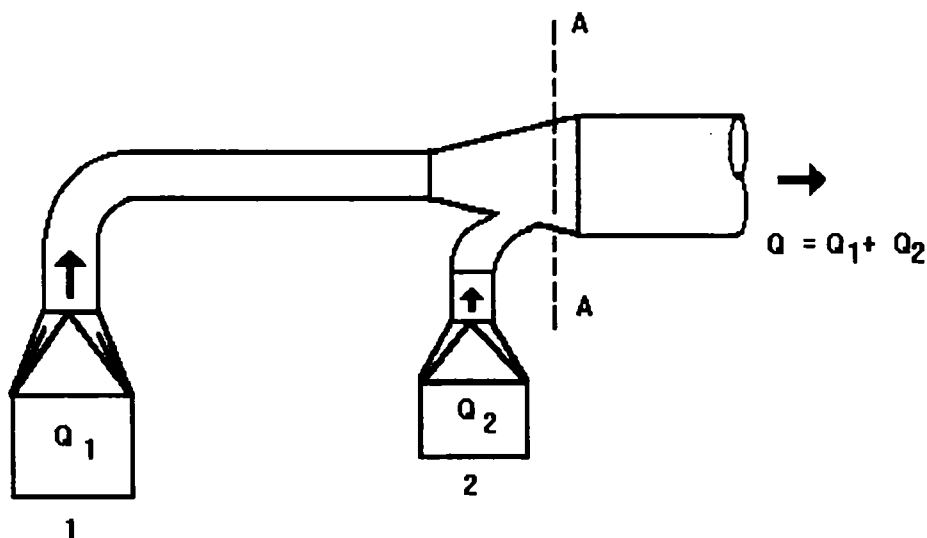


Figura 5.2. - Sistema de ventilação local exaustora com dois tramos

A pressão estática na secção AA é a somatória da pressão cinética da aceleração do fluido em cada um dos captores, mais as perdas de carga em cada um dos tramos. Num sistema balanceado tem-se:

$$Pe_{AA} = PC_1 + \Delta P_{1A} = PC_2 + \Delta P_{2A}$$

Se o sistema não estiver balanceado quando do projeto, na prática ele vai se autobalancear, pois na junção pode existir uma pressão estática. No entanto esse balanceamento não programado e não controlado ocasionará vazões e mesmo velocidades diferentes daquelas desejadas. No tramo que tiver menor pressão estática ocorrerá aumento da vazão mas a custa de redução de vazão no outro tramo, podendo atingir condições não aceitáveis de vazão de exaustão ou de velocidade de transporte, promovendo deposição de partículas nos dutos e reduzindo a eficiência de captação.

O balanceamento pode ser conseguido através do adequado projeto das tubulações e singularidades, procedimento esse denominado "balanceamento por pressões estáticas", através do uso de dampers e placas de orifício, os quais, são devidamente ajustados na partida do sistema. O balanceamento por pressões estáticas deve ser utilizado sempre que possível pois se bem projetado, o sistema funcionará dentro das condições previstas, sem necessidade de ajustes posteriores. Esse tipo de balanceamento, por ser estanque, dificulta a má ação do operador sobre o sistema. Contudo, trata-se de método que exige conhecimento perfeito das perdas de cargas de cada elemento do tramo, sendo de difícil consecução quando o número de tramos for elevado.

A igualdade das perdas de cargas no ponto de junção de dois tramos pode ser encarada em termos práticos, com uma certa tolerância, sugerindo-se a seguinte metodologia:

- A) Quando houver uma diferença entre as pressões estáticas calculadas em cada tramo, de 20% ou mais, deve-se redimensionar um dos tramos (geralmente o de menor perda de carga, em virtude das limitações da velocidade mínima de transporte), fazendo-se as modificações necessárias para reduzir a diferença.

- B) Quando a diferença entre as pressões estáticas oscilar entre 5 e 20%, pode-se atingir o balanceamento, aumentando-se ligeiramente a vazão no tramo de menor perda de carga. Esta vazão final ou vazão corrigida, pode ser calculada por:

$$Q_{\text{corrigida}} = Q_{\text{inicial}} \cdot \sqrt{\frac{Pe(\text{maior})}{Pe(\text{menor})}}$$

- C) Quando houver uma diferença entre as pressões estáticas menor que 5%, o sistema é considerado balanceado, ignorando-se o pequeno erro. Prossegue-se na elaboração ou revisão do projeto com o maior valor da pressão estática calculada até o ponto.

A elaboração do projeto de um sistema balanceado com o uso de registros é mais simples e rápido, devendo levar em consideração a velocidade mínima de transporte. Este tipo de sistema apresenta maior flexibilidade, permitindo alterações desejadas de vazão posteriormente, dentro de certos limites. Apresenta, contudo, diversas desvantagens, como por exemplo, a maior presença de pontos de deposição de partículas; pós abrasivos podem desgastar as válvulas de balanceamento ocasionando desbalanceamento do sistema; o balanceamento pode ser alterado pela ação dos operadores, ocasionando alterações de vazões que certamente prejudicarão a captação, podendo também, ocasionar deposição de partículas nas tubulações.

TABELA 5.5. - FATOR DE CORREÇÃO DE DENSIDADE

Temperatura (°C)	Altitudes (metros acima do nível do mar)								
	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
0	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	0,90	0,87	0,85
21	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78
50	0,91	0,88	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71
75	0,84	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66
100	0,79	0,77	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62
125	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,63	0,62	0,60	0,58
150	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55
175	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55	0,53	0,51
200	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49
225	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,46
250	0,56	0,55	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44
275	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,46	0,45	0,43	0,42
300	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42	0,40
325	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39
350	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37
375	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36
400	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34
425	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33
450	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32
475	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31
500	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30

kg/m³ = fator de densidade x 1,2.

Ar seco, pesado a 21°C e ao nível do mar = 1,2 kg/m³.

A perda de carga varia diretamente com a densidade (aproximadamente).

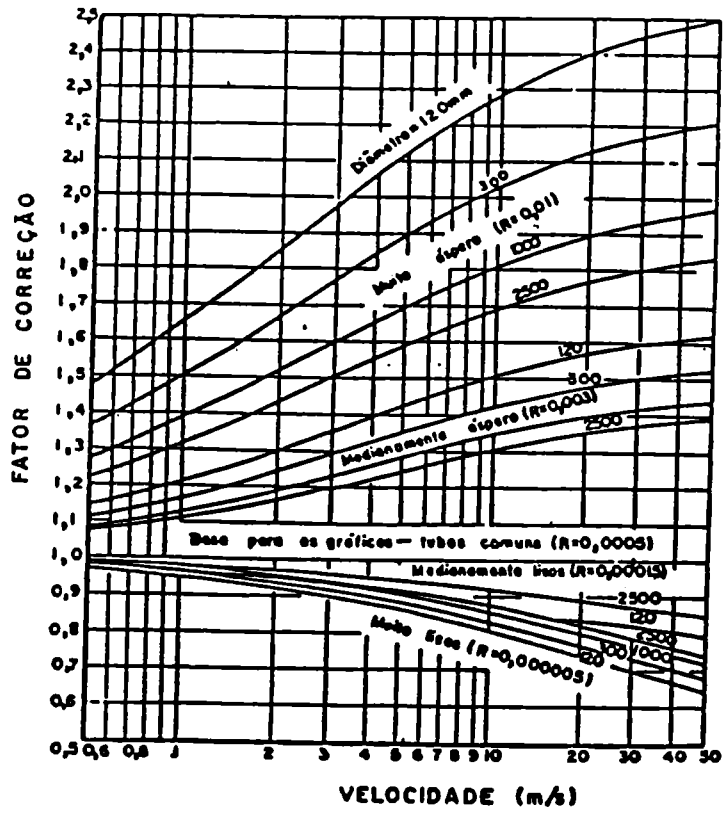


Figura 5.3. - Fator de correção de rugosidade



CAPÍTULO 6 - EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR

O tratamento de emissão atmosférica é realizado através de equipamentos de controle de poluição do ar. Nesses equipamentos são aplicados fenômenos físicos e/ou químicos à mistura gasosa que contém os poluentes ("impurezas"), de forma a separá-los do gás que os transporta. Os mecanismos a serem aplicados dependerão do tipo de natureza dos poluentes e do tipo de equipamento de controle utilizado.

A escolha de um equipamento de controle depende de vários fatores, entre os quais o tipo e natureza dos poluentes, eficiência de controle desejada, condições locais e custo.

6.1. - EFICIÊNCIA DE CONTROLE E PENETRAÇÃO

A eficiência de controle de um equipamento de controle de poluição do ar indica a quantidade de poluentes que o equipamento remove (coleta) ou tem condições de remover (coletar).

Matematicamente, a eficiência de controle pode ser expressa por:

$$\eta = \frac{X_i - X_f}{X_i} \times 100$$

Sendo:

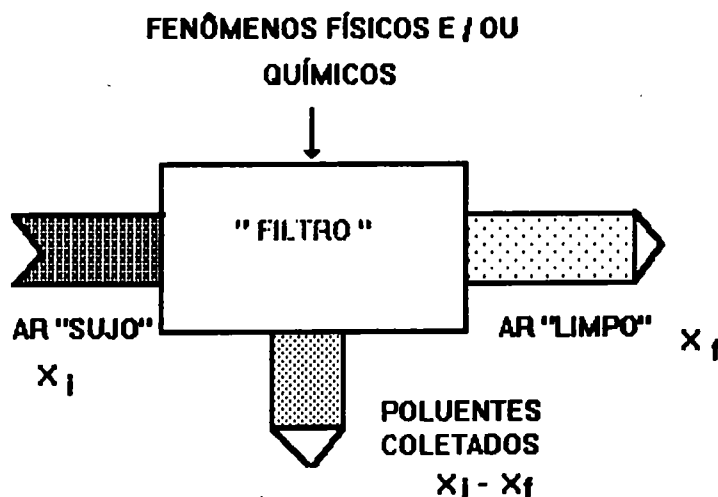
η = eficiência de controle (%)

X_i = quantidade de poluentes existentes na entrada do ECP

X_f = quantidade de poluentes existentes no fluxo gasoso após o ECP

$X_i - X_f$ = quantidade de poluentes coletados pelo ECP

Em geral, X_i e X_f são expressos em massas e dessa forma temos a Eficiência em Massa. Quando X_i e X_f são expressos em números de partículas, temos a Eficiência em Número, a qual é utilizada somente para poluentes sob a forma de partículas e indica o número de partículas. Ilustrando, temos:



Deve-se ressaltar que a eficiência dos equipamentos ao controle de poluição do ar nunca alcança 100% apesar de existirem equipamentos capazes de remover mais que 99,9% dos poluentes. Assim, o termo ar limpo deve ser entendido como contendo uma quantidade de poluentes dentro de níveis aceitáveis e em relação ao poluente considerado.

Quando a eficiência é expressa por tamanho de partículas, a mesma recebe a denominação de Eficiência Fracionada. Exemplo de eficiência fracionada é mostrada na Tabela 6.1, para vários tipos de coletores. A eficiência fracionada também pode ser expressa por uma curva e nesse caso temos a Curva de Eficiência.

TABELA 6.1 - EFICIÊNCIA FRACIONADA DE COLETORES DE MATERIAL PARTICULADO EM FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DAS PARTÍCULAS *(EM PORCENTAGEM)

<i>Tipo de Equipamento</i>	<i>Faixas de diâmetros (µm)</i>				
	<i>0 - 5</i>	<i>5 -10</i>	<i>10 - 20</i>	<i>20 - 44</i>	<i>> 44</i>
Câmara de sedimentação (com chicanas)	7,5	22,0	43,0	80,0	90,0
Ciclone de baixa pressão	12,0	33,0	57,0	82,0	91,0
Ciclone de alta pressão	40,0	79,0	92,0	95,0	97,0
Multiciclone	25,0	54,0	74,0	95,0	98,0
Filtro de tecido	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Lavadores de média energia	80,0	90,0	98,0	100,0	100,0
Lavadores Venturi (lavador de alta energia)	95,0	99,5	100,0	100,0	100,0
Precipitador eletrostático	97,0	99,0	99,5	100,0	100,0

Nota: Valores para fins comparativos. Não deverão ser utilizados para fins de projetos.

Na prática, existem muitos casos de utilização de equipamentos de controle em série, como por exemplo um ciclone seguido de um lavador. Nesse caso, define-se a Eficiência Global de Coleta.

Matematicamente, a eficiência global é expressa por:

$$\eta_G = 1 - [(1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_i)] \cdot 100$$

Onde:

η_G = eficiência global (%)

η_1 = eficiência de controle do equipamento 1 (base 1)

η_2 = eficiência de controle do equipamento 2 (base 1)

η_i = eficiência de controle do iésimo equipamento (base 1)

A penetração (P) é definida como a quantidade de poluentes que passa através do equipamento de controle sem ser coletada. Expressa o residual de poluentes que passa pelo equipamento. Matematicamente, a penetração é expressa por:

$$P = 1 - \eta \text{ (base 1)}$$

Ou

$$P = 100 - \eta \text{ (base 100)}$$

6.2. - EQUIPAMENTO DE CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO

A coleta de partículas envolve a aplicação de um ou mais dos seguintes mecanismos: sedimentação gravitacional, força centrífuga, impactação, interceptação, difusão e força elétrica.

É importante ressaltar que as partículas emitidas por fontes de poluição do ar situam-se num a faixa de tamanho bastante ampla. No entanto, as partículas "grandes" (maiores que $10 \mu_m$) são mais fáceis de serem coletadas.

Quanto menor a partícula, maior a dificuldade de coleta. Infelizmente, as partículas pequenas são aquelas passíveis de serem inaladas podendo, portanto, terem contanto com as partes mais profundas do sistema respiratório aumentando a probabilidade de ocorrência de efeitos nocivos. Entende-se como partículas inaláveis aquelas de diâmetro aerodinâmico menor que 10 mm.

Os equipamentos de controle de poluição do ar por material particulado podem ser classificados em:

- **Coletores Secos:** coletores mecânicos inerciais e gravitacionais; coletores mecânicos centrífugos (exemplo: ciclones); precipitadores eletrostáticos secos.
- **Coletores Úmidos:** lavadores com pré-atomização (lavadores tipo spray); lavador Venturi; lavador ciclônico; lavador de orifício (auto-induzido); lavadores de leito móvel; lavadores com enchimento; outros lavadores; precipitadores eletrostáticos úmidos.
- **Câmara de Sedimentação Gravitacional:** Tem como mecanismo de coleta a força gravitacional. É utilizada como pré-coletor de partículas grandes (> 40 micrometros), diminuindo a carga para o coletor final (filtro final).

Tem como vantagens a baixa perda de carga (< 12,5 mmCA), o projeto, construção e instalação simples; baixo custo de instalação, operação e manutenção; pouco desgaste; não tem limitação de temperatura, só dependendo neste caso dos materiais de construção; coleta a seco, permitindo a reutilização fácil do material coletado.

Apresenta como desvantagens, a baixa eficiência para partículas pequenas; requer grande espaço para sua instalação e requer cuidados especiais para substâncias inflamáveis ou explosivas.

- **Coletores Centrífugos Secos (Ciclones):** Os ciclones apresentam como principal mecanismo de coleta a força centrífuga. São de grande aplicação na prática, principalmente como pré-coletores e em alguns poucos casos como coletor final. Os multiciclones são um conjunto de ciclones pequenos (20 a 30 cm de diâmetro) instalados em paralelo, dentro de uma caixa, sendo mais compactos e mais eficientes que os ciclones comuns.

Apresentam como vantagens o custo de construção; perda de carga baixa a média (50 a 200 mmCA); projeto relativamente simples; é um equipamento simples com poucos problemas de manutenção; simples de operar; não tem limitação de temperatura e pressão, exceto pelo material de construção e o espaço requerido para sua instalação é relativamente pequeno.

Suas principais desvantagens são a baixa eficiência para partículas pequenas; possibilidade de entupimento no caso de material adesivo ou higroscópico; pode apresentar problemas de abrasão para determinados tipos de partículas e determinadas velocidades do gás; não deve ser utilizado para partículas com características adesivas.

- **Filtros de Tecido:** Os Filtros de Tecido apresentam-se em dois formatos principais, o Filtro-manga e o Filtro-Bolsa, sendo que o filtro-manga é o de maior uso na indústria. São utilizados como coletor final de partículas sólidas de todos os tamanhos, inclusive submicrônicas. Os principais mecanismos de coleta são a impactação e a difusão. São de grande uso na prática, permitindo atender normas exigentes de controle da poluição do ar.

Tem como principais vantagens a alta eficiência de coleta (acima de 99% em muitos casos); pouco sensível a flutuação de vazão e concentração; coleta a seco possibilitando reutilização do material coletado sem tratamento; não apresenta problemas de resíduos líquidos; corrosão pouco acentuada; manutenção simples; operação relativamente simples; princípio de funcionamento e projeto simples; perda de carga e custo de operação moderados; vida útil relativamente longa (10 a 15 anos).

As desvantagens incluem a limitação de temperaturas máximas em função do material das mangas; pode requerer tratamento especial do material filtrante para determinadas aplicações; custo de manutenção alto (troca de tecido filtrante); materiais higroscópicos, adesivos e condensação de umidade pode ocasionar entupimento e deterioração do material filtrante; localização de mangas furadas relativamente difícil; requer espaço médio para sua instalação, sendo maior no caso de filtros com limpeza por fluxo reverso e por vibração.

- **Lavadores:** Os lavadores coletam partículas pelos mecanismos de impactação, interceptação e difusão, prevalecendo o mecanismo da impactação. É utilizado como coletor final partículas de todos os tamanhos, tendo sua eficiência ditada principalmente pela sua perda de carga. Podem ser utilizados, também, para a coleta de determinados gases e ou vapores, sendo neste caso denominados de absorvedores.

Suas vantagens incluem a não formação secundária de poeiras; são em geral compactos, exigindo pouco espaço para instalação; coletam partículas sólidas e líquidas, adesivas ou não; pode tratar gases a altas temperaturas e altas umidades; pode proporcionar alta eficiência de coleta para partículas pequenas (às custas de altas perdas de carga), como é o caso do Lavador Venturi.

Apresentam como desvantagens a possibilidade de criar problema de poluição das águas, podendo necessitar sistema de tratamento de efluentes líquidos; o material é coletado a úmido dificultando a sua reutilização; são mais suscetíveis a problemas de corrosão; perda de carga alta para altas eficiências de coleta; necessita material de construção especial (inox, fibra de vidro, etc.); pode apresentar pluma visível por condensação de vapor d'água; custo de manutenção relativamente alto; pode apresentar problemas de incrustação; vida útil relativamente baixa (5 a 10 anos).

- **Precipitadores Eletrostáticos:** Os precipitadores eletrostáticos usam a força elétrica como mecanismo principal de coleta das partículas. Pode ser do tipo tubular ou de placas paralelas, de um estágio ou de dois estágios. Em geral, os precipitadores utilizados na indústria são do tipo placas paralelas de um estágio (alta voltagem). A coleta de névoas de gordura em restaurantes e de névoas

de óleo de corte é feita com o precipitador de dois estágios (baixa voltagem). Podem ser utilizados para a coleta final para partículas de todos os tamanhos, sólidas ou líquidas. Os precipitadores eletrostáticos de alta voltagem (35.000 a 75.000 volts) são utilizados em fontes específicas (indústria de celulose, cimento, siderúrgicas, aciarias, etc.) pelo seu alto custo inicial e por exigir grande espaço para instalação e, em geral, para grandes vazões de ar. Podem ser utilizados a úmido para algumas aplicações específicas.

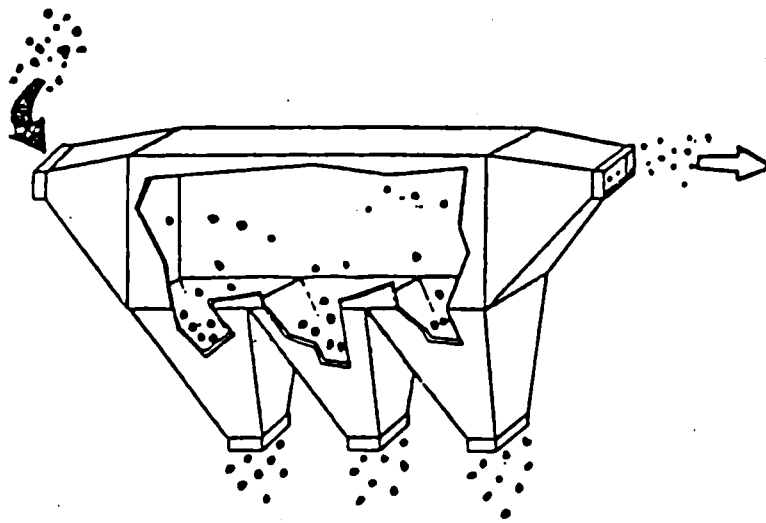
Tem como vantagens a alta eficiência de coleta, podendo exceder 99,9%; coleta partículas submicrônicas; baixa perda de carga, em geral não excedendo a 20 mmCA; baixo custo operacional; coleta a seco possibilitando fácil reutilização; podem coletar partículas sólidas e líquidas que são difíceis de coletar com outros equipamentos; apresentam poucos problemas de manutenção e operação; podem ser operados continuamente por longos períodos sem parada para manutenção; processam altas vazões e faixa ampla de concentrações; podem operar em faixa ampla de pressões positivas ou negativas; vida útil longa, podendo atingir mais de 20 anos.

Suas desvantagens incluem o investimento inicial alto; requerem grande espaço para instalação; apresentam riscos de explosão quando processam partículas ou gases inflamáveis/explosivos; exigem medidas especiais de segurança contra alta voltagem; muito sensíveis a variações de vazão, temperatura e umidade; alguns materiais são de difícil coleta por apresentarem resistividade alta ou baixa; exigem pessoal qualificado para manutenção; produção de ozônio nas descargas elétricas, principalmente nos precipitadores de alta voltagem.

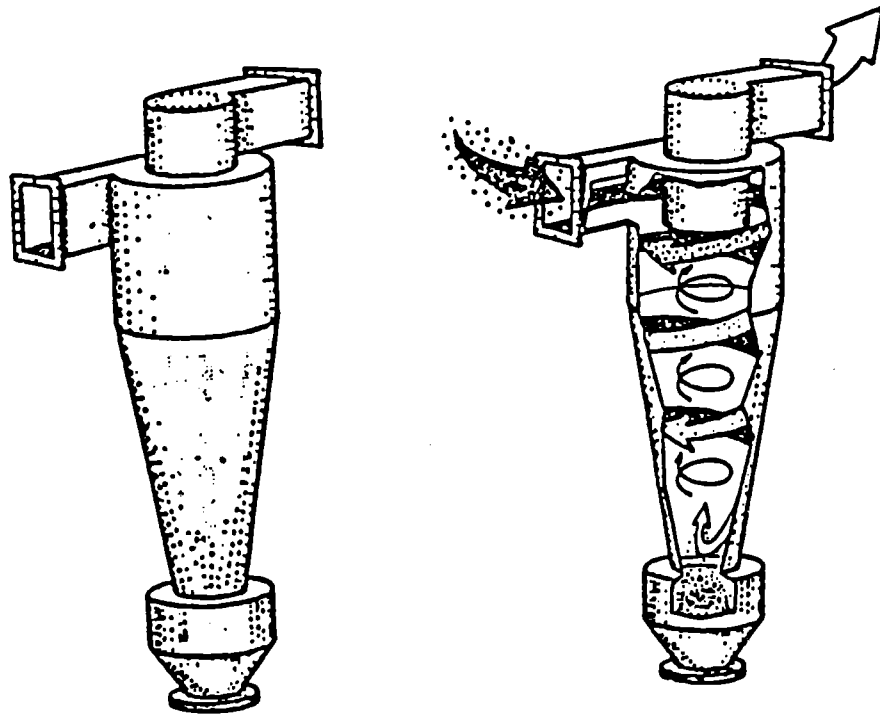
6.3. - EQUIPAMENTO DE CONTROLE DE GASES E VAPORES

O controle de gases e vapores envolve operações unitárias e reações químicas. As operações unitárias principais são a absorção física, a adsorção e a condensação. Reações químicas ocorrem em casos de absorção e adsorção com reação química (quimissorção), na incineração (combustão) e em processos especiais. São classificados em condensadores; absorvedores, adsorvedores, incineradores de chama direta (incineradores térmicos), incineradores catalíticos; tipos especiais.

- **Condensadores:** Utilizado para a remoção de vapores em altas concentrações e com pressão de vapor alta. Apresenta como vantagens a possibilidade de recuperação de produto puro. Suas desvantagens são a eficiência de coleta baixa para concentrações típicas de fontes de poluição do ar e o custo do resfriamento que em geral é alto.

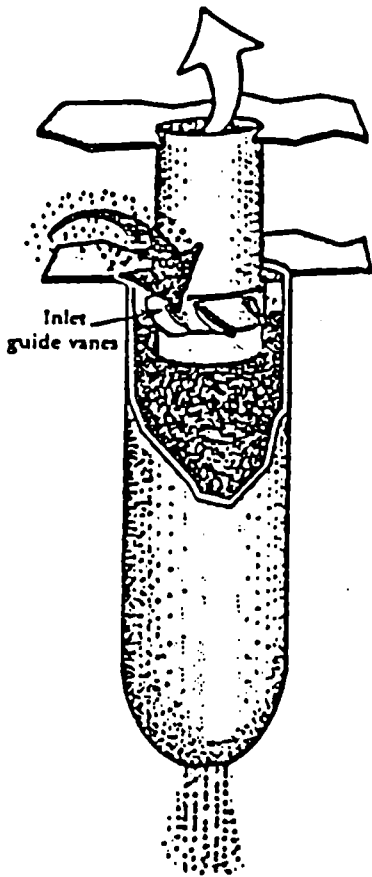


Câmara de sedimentação gravitacional

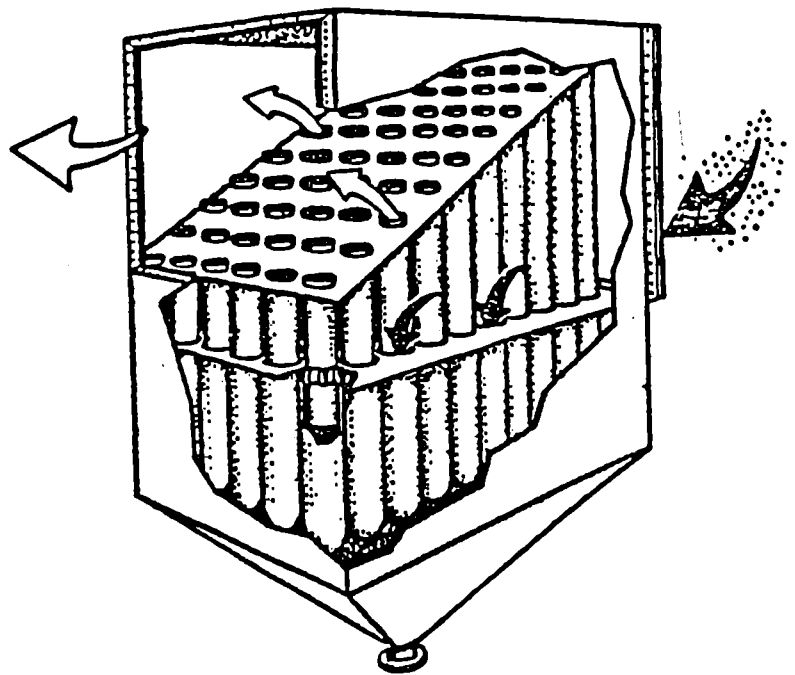


Ciclone de entrada tangencial

COLETORES GRAVITACIONAIS E CENTRÍFUGOS

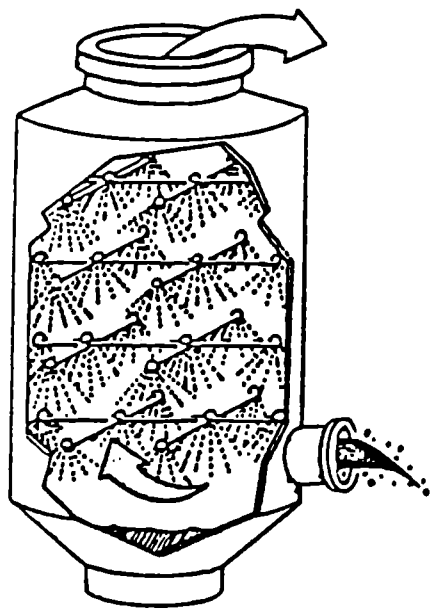


Ciclone de entrada axial

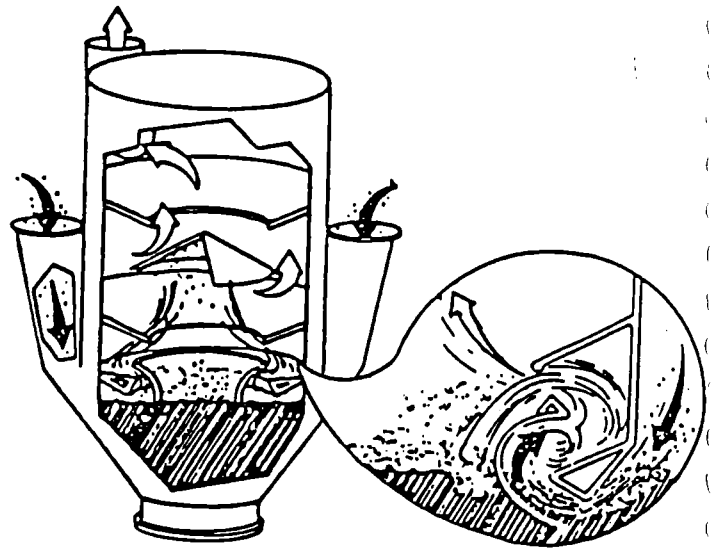


Multiciclone

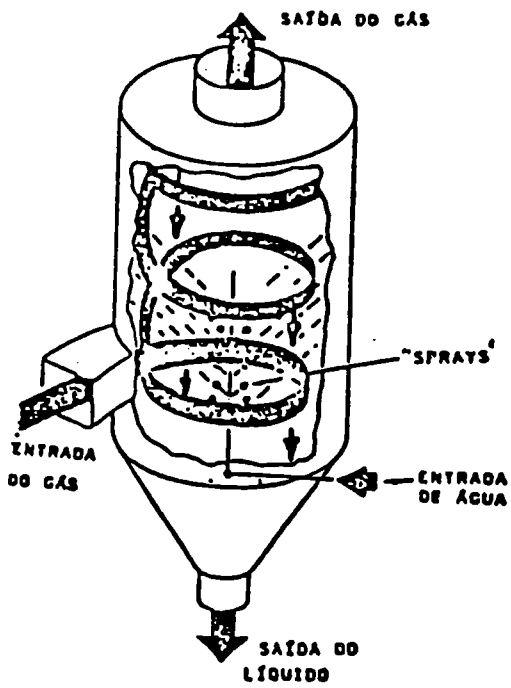
COLETORES GRAVITACIONAIS E CENTRÍFUGOS (CONTINUAÇÃO)



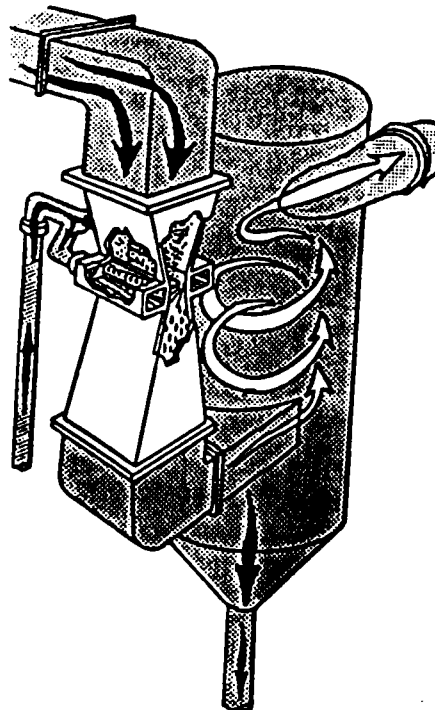
Lavador tipo spray gravitacional



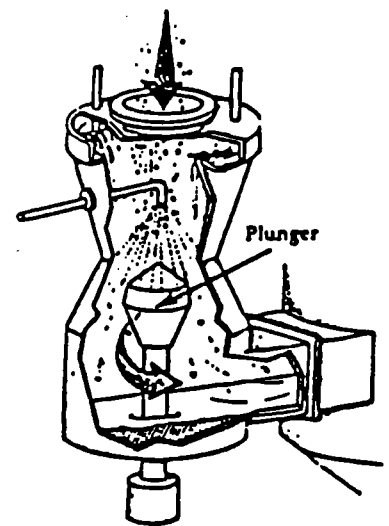
Lavador tipo orifício (auto-induzido)



Lavador ciclônico

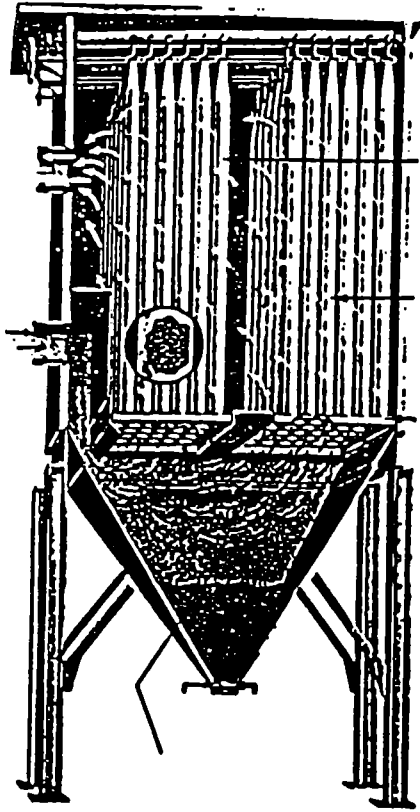


Lavador Venturi clássico

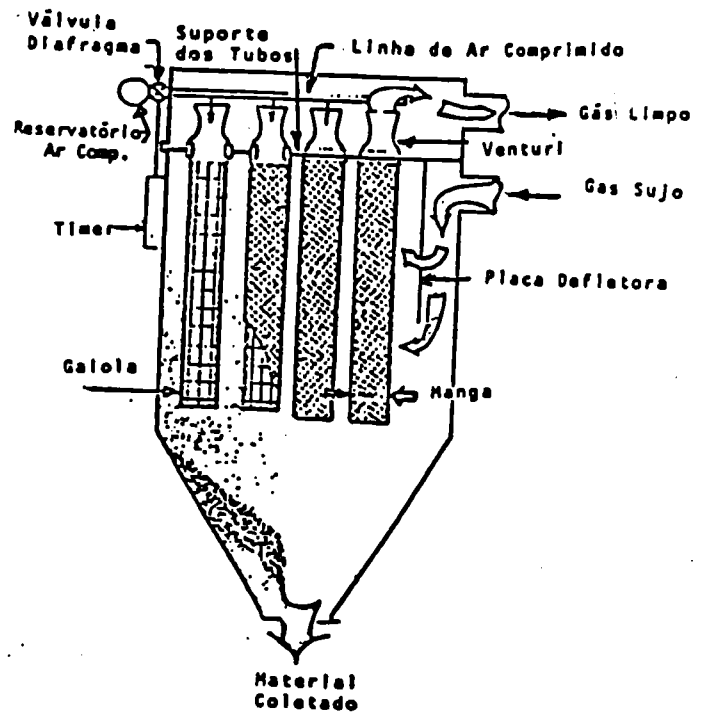


Lavador Venturi com garganta regulável

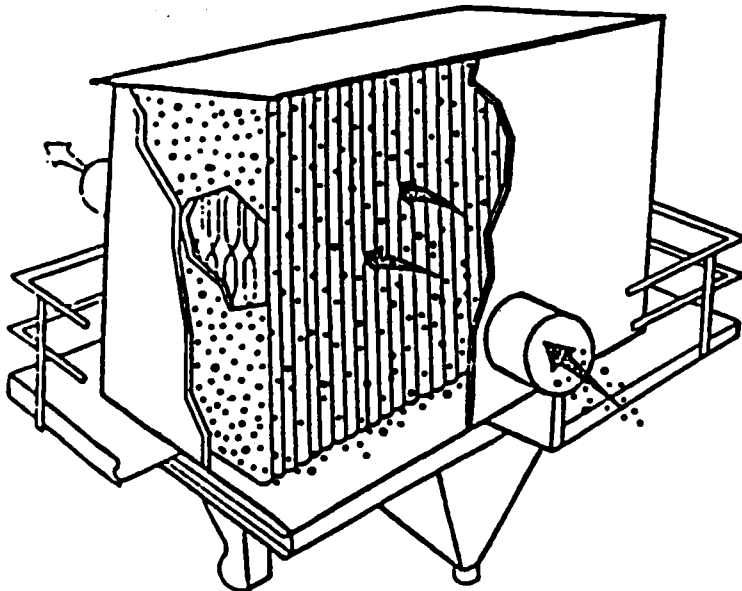
LAVADORES



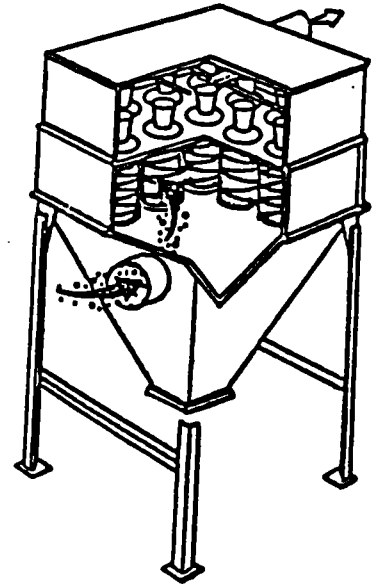
Filtro manga com limpeza por vibração



Filtro manga com limpeza por jato pulsante

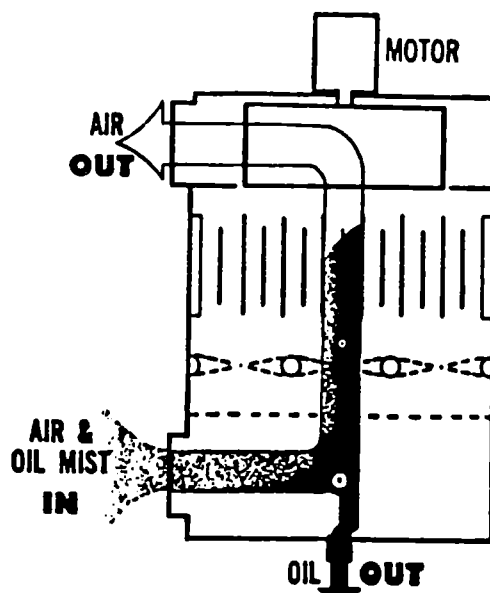


Filtro tipo envelope (bolsa)

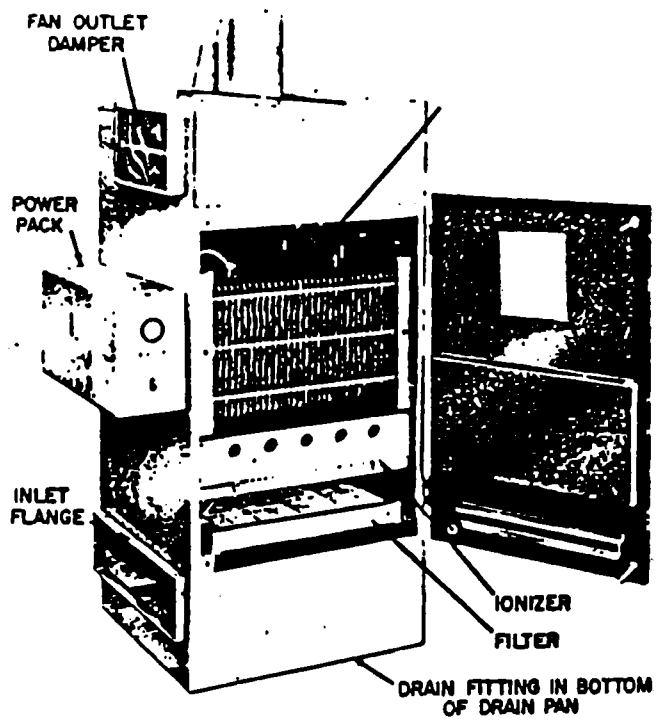


Filtro tipo cartucho

FILTROS DE AR

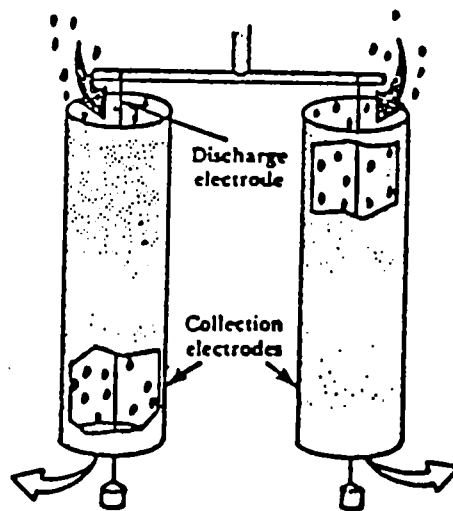


Esquema do precipitador de dois estágios

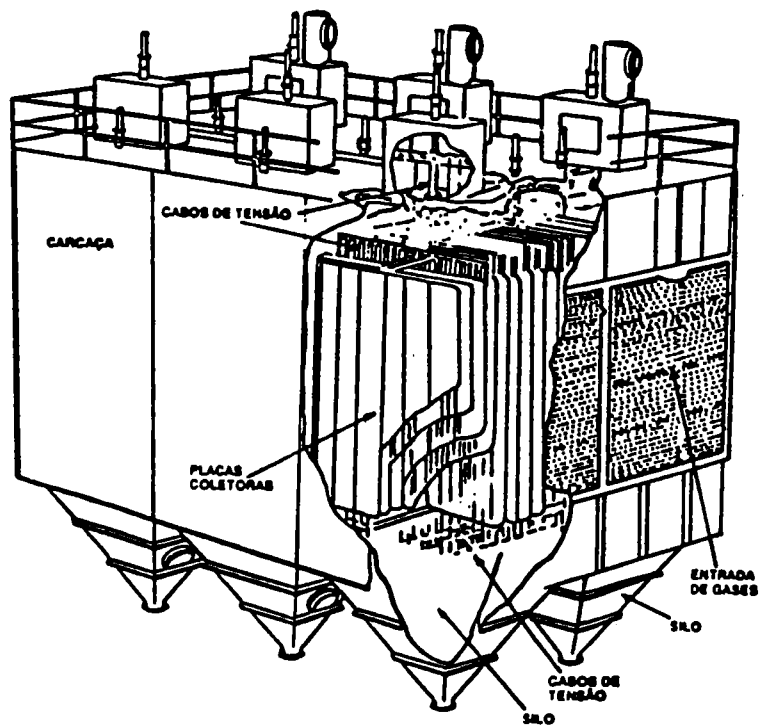


Precipitador de dois estágios

PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS

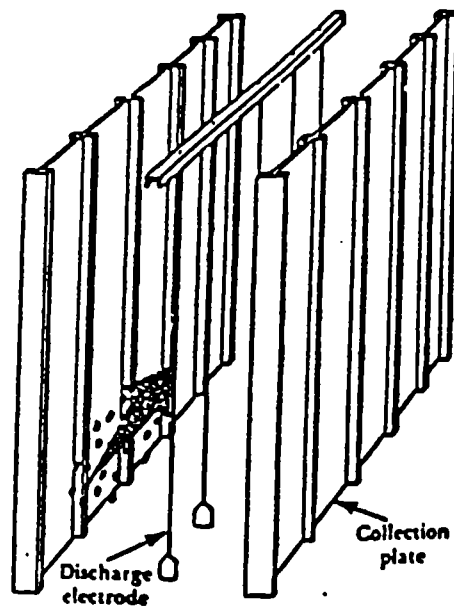


Precipitador tubular



Precipitador de placas

PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS (CONTINUAÇÃO)



Vista dos eletrodos

PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS (CONTINUAÇÃO)

- **Adsorvedores:** A adsorção é um processo seletivo e bastante apropriado para a remoção de gases e vapores a baixas concentrações. A eliminação de compostos odoríficos, os quais em geral estão presentes em baixas concentrações, pode ser realizada com alta eficiência através da adsorção.

O controle de emissões de solventes, em alguns casos a altas concentrações, pode ser também feita através da adsorção com regeneração do material adsorvente e com recuperação do solvente, como é o caso do controle de solventes emitidos pelo sistema de lavagem de roupas a seco, o qual leva significativa vantagem econômica em relação à incineração, pela não necessidade de uso de combustível.

Os materiais adsorventes utilizados são o carvão ativado, a alumina ativada e as peneiras moleculares, sendo o carvão ativado o de maior uso na prática.

O carvão ativado pertence ao grupo dos sólidos não polares e é o material mais utilizado na prática. Ele é produzido pelo aquecimento de sólidos orgânicos (carvão, coco, madeira dura, etc.) a aproximadamente 900°C, em atmosfera redutora. Esse adsorvente é um dos mais antigos e é muito utilizado face à sua versatilidade, disponibilidade e custo. Os adsorvedores com carvão ativado são extremamente efetivos na remoção de poluentes gasosos e mesmo para gases e vapores presentes em baixas concentrações, os mesmos podem ser projetados e operados a eficiências próximas a 100%.

Os usos típicos da adsorção com carvão ativado são: ácido acético; ácido caprílico; acetato de etila; álcool etílico; álcool butílico; álcool butírico; álcool isopropílico; benzeno; cloropicrina; cresol; fenol; fumaça de cigarro; gasolina; mercaptanas; odores corporais; odores hospitalares; odores de perfumes; odores de óleos essenciais; ozona; piridina; terebentina; tetracloreto de carbono; tolueno e em menor grau acetona; acroleína; cloro; cheiro de fumaça de óleo diesel; gás sulfídrico.

- **Incineração:** A incineração é um método eficaz no controle de gases e vapores de origem orgânica. A combustão, que é o processo utilizado na incineração, transforma os contaminantes combustíveis em dióxido de carbono e vapor de água, no caso de combustão completa. A incineração também pode ser utilizada para a oxidação de compostos inorgânicos como por exemplo o gás sulfídrico (H_2S), que é um gás de odor bastante desagradável, transformando-o em dióxido de enxofre e vapor de água. Neste último caso, temos a transformação de um gás poluente em outro também poluente, porém, dependendo da quantidade de dióxido de enxofre que será formada, é melhor que se tenha este último do que o odor desagradável do gás sulfídrico. A incineração também pode ser utilizada na redução das emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos por fontes móveis (veículos) através do uso de combustores catalíticos.

No caso de fontes de poluição do ar, os poluentes geralmente estão presentes em baixas concentrações e necessitam do fornecimento de energia suplementar, que deve ser suprida pela queima de combustível auxiliar. O sistema de combustão catalítica utiliza oxidação a temperaturas mais baixas que o de combustão por chama direta.

Os fatores principais para se alcançar altas eficiências de controle em incineradores de chama direta são a temperatura da câmara de incineração, o tempo de permanência dos poluentes na câmara de incineração (tempo de residência) e a turbulência na câmara, que possibilitará maior contato entre o poluente e o oxigênio. A faixa usual de temperaturas de incineração é de 650 a 850 °C.

Três tipos básicos de equipamentos são utilizados para a incineração de gases e vapores, quais sejam: incinerador de chama direta; incinerador catalítico e o *Flare*. A incineração em uma câmara de combustão já existente, na qual existe um outro uso principal, como é o caso da utilização de câmaras de combustão de caldeiras enquadra-se como incinerador de chama direta.

O incinerador catalítico consiste basicamente de uma câmara que contém o catalisador, num suporte cerâmico usualmente, que promoverá a oxidação do poluente. A incineração catalítica necessita temperaturas mais baixas quando comparada com a incineração com chama direta, mas na maioria dos casos há necessidade de câmara de pré-aquecimento. O incinerador catalítico também deve possuir dispositivos indicadores-controladores de temperatura, dispositivos de segurança e sistema de recuperação de calor

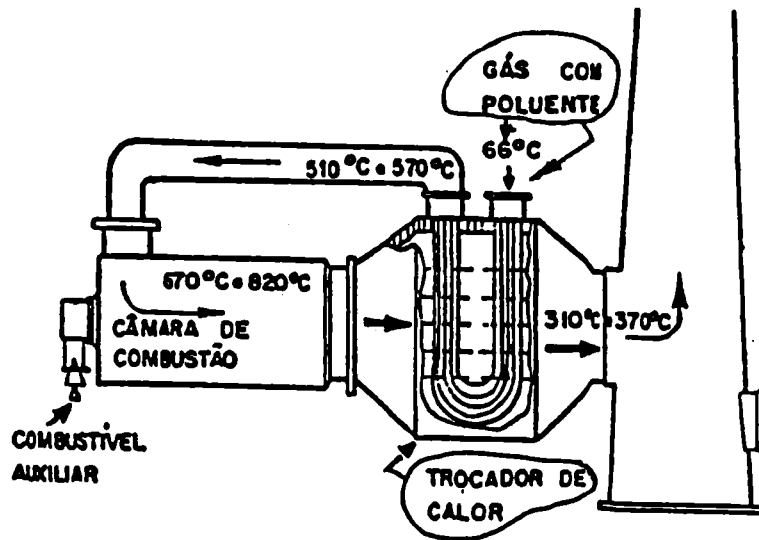
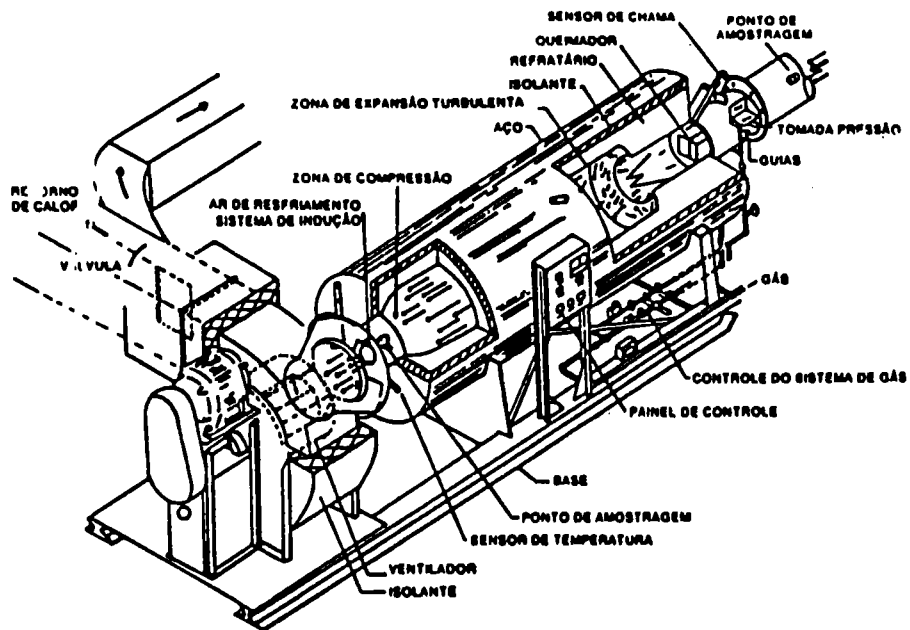
Os elementos que têm sido utilizados como catalisadores são metais e óxidos metálicos da família dos metais nobres, como a platina, o paládio e o rutênio e ligas de metais nobres. Como a catálise é um fenômeno de superfície, pequenas quantidades de catalisador são suportadas por um meio expandido, tal como a alumina, de tal modo que seja conseguida uma grande área superficial. A temperatura na entrada do leito catalisador está usualmente na faixa de 340°C a 540°C. A eficiência do incinerador catalítico deteriora com o tempo de uso e portanto, deve ser feita a reposição periódica dos elementos. Essa reposição varia largamente, desde alguns meses até vários anos. Em adição, a performance do catalisador é seriamente afetada por materiais que o envenenam, como por exemplo mercúrio, arsênio, zinco e chumbo. Substâncias que entopem o catalisador, tais como resinas, devem ser evitadas.

- **Absorvedores:** Os absorvedores são equipamentos utilizados na absorção de gases. A absorção é uma transferência de massa (poluentes) da fase gasosa para a fase líquida (absorvente). Os absorvedores usualmente utilizados são: torre de enchimento; torre de pratos; lavador Venturi; lavador de sprays.

Os usos típicos da absorção são para a remoção de dióxido de enxofre, gás sulfídrico (H_2S), gás clorídrico (HCl), cloro (Cl_2), amônia (NH_3), gás fluorídrico (HF), e hidrocarbonetos leves.

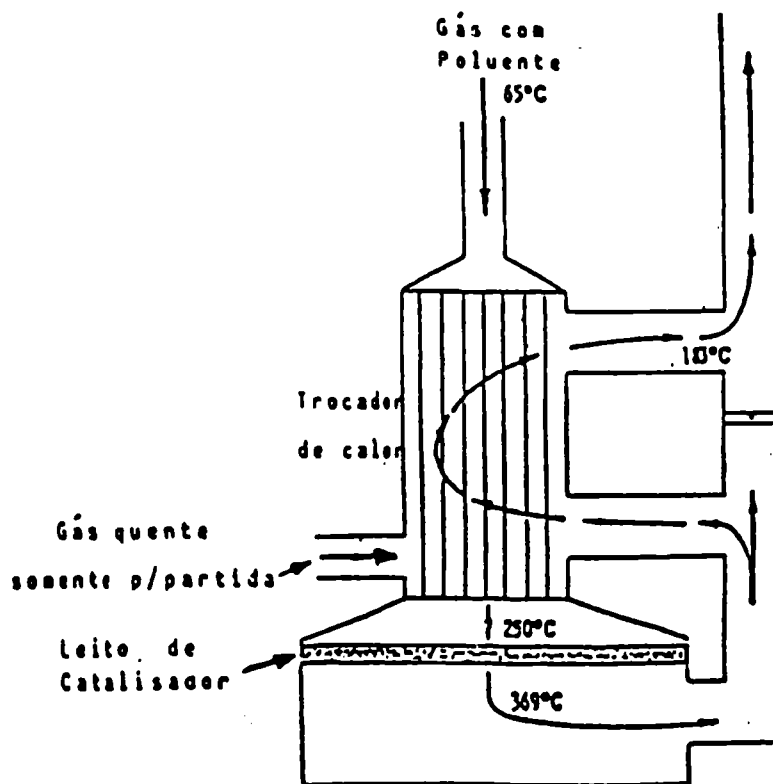
O líquido absorvente mais comum é a água. No caso de absorção de dióxido de enxofre são utilizadas principalmente a solução de soda cáustica, suspensão aquosa de carbonato de cálcio ou cal e solução amoniacal. A absorção de hidrocarbonetos é usualmente realizada com solventes orgânicos.

Os enchimentos são utilizados para aumentar a área disponível para transferência da massa, no entanto podem ser também um foco de incrustação e entupimentos. A eficiência de remoção do poluente é função do projeto e das condições de operação e de manutenção do sistema. Em geral, as eficiências práticas estão na faixa de 70 a 95%.



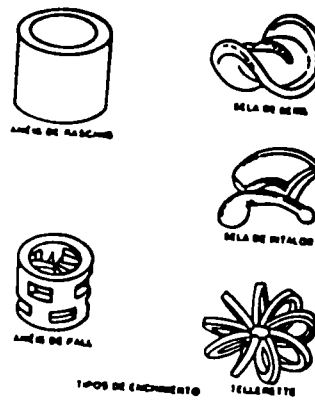
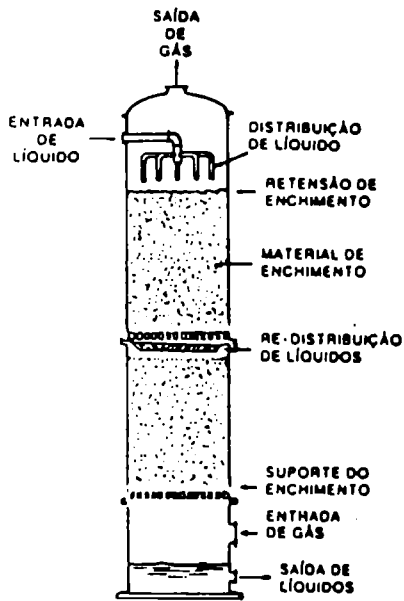
Incineradores de chama direta

INCINERADORES DE GASES



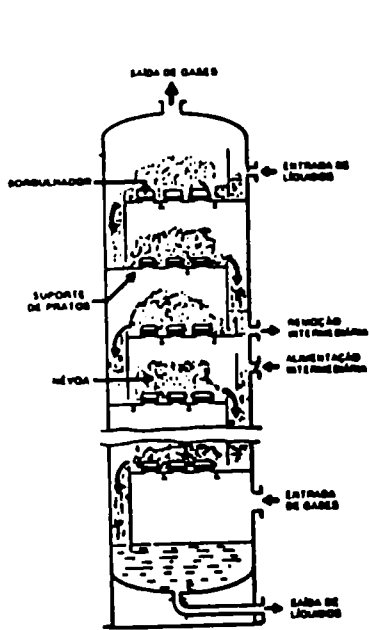
Incinerador catalítico com recuperador de calor (Rhone-Poulenc)

INCINERADORES DE GASES (CONTINUAÇÃO)

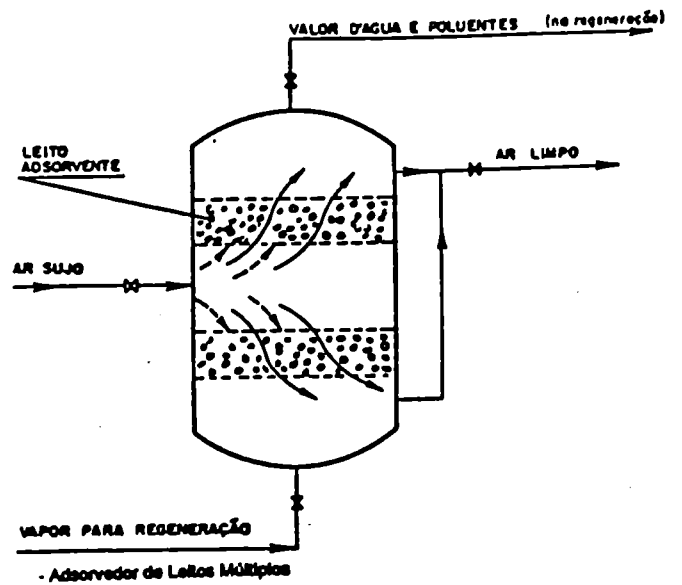


Tipos de enchimento

Torre de enchimento para absorção de gases



Torre de pratos para absorção de gases



Absorvedor de leitos múltiplos com carvão ativado

ABSORVEDORES E ADSORVEDORES

TABELA 6.2.
PERDA DE CARGA EM EQUIPAMENTOS
DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR

<i>Equipamento</i>	<i>Faixa usual de perda de carga (mmCA)</i>
Câmara de sedimentação gravitacional	5 a 20
Ciclone convencional	25 a 50
Ciclone de média eficiência	50 a 100
Ciclone de alta eficiência	100 a 125
Multiciclone	100 a 125
Câmara de impactação	35 a 65
Filtro de tecido (filtro-manga)	100 a 200
Filtro compactado	5 a 25
Lavador tipo torre de spray	15 a 25
Lavador ciclônico	65 a 150
Lavador tipo ejetor*	25 a 75
Lavador auto-induzido ou de orifício	65 a 150
Lavador de impactação	100 a 150
Lavador Venturi	250 a 1000
Leito de adsorção	75 a 150
Torre de enchimento	50 a 200
Torre de pratos	50 a 150
Incinerador de chama direta (térmico)	5 a 15
Incinerador catalítico	25 a 100
Precipitador eletrostático	5 a 20

* Pressão disponível.

TABELA 6.3. - CLASSIFICAÇÃO E APLICAÇÕES DOS FILTROS DE AR PARA SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E SALAS LIMPAS

<i>Classe do filtro</i>	<i>Eficiência (%)</i>	<i>Características</i>	<i>Aplicações principais</i>
GO	30-59	Boa eficiência contra insetos e relativa eficiência para poeira grossa. Eficiência reduzida contra pólen de plantas e quase nula contra poeira doméstica.	Condicionadores tipo janela
G1	60-74	Boa eficiência contra poeira grossa e relativa eficiência contra pólen de plantas. Eficiência reduzida contra poeira atmosférica.	Condicionadores tipo compacto (<i>self contained</i>)
G2	75-84	Alta eficiência contra poeira grossa. Boa eficiência contra pólen de plantas e relativa eficiência contra fração grossa (> 5 mm) da poeira atmosférica.	Condicionadores de sistemas centrais
G3	85 e acima	Boa eficiência contra fração grossa (> 5 mm) da poeira atmosférica.	Condicionadores dos sistemas centrais; pré-filtragem para filtros finos F2 e F3
F1	40-69	Eficiência satisfatória contra a fração fina (1 a 5 mm) da poeira atmosférica. Pouca eficiência contra fumaças de óleo e tabaco.	Condicionadores de sistemas centrais para exigências altas. Pré-filtragem para filtros finos F3
F2	70-89	Boa eficiência contra a fração fina (1 a 5 mm) da poeira atmosférica. Alguma eficiência contra fumaças de óleo e tabaco.	Condicionadores de sistemas centrais para exigências altas. Pré-filtragem para filtros absolutos
F3	90 e acima	Alta eficiência contra a fração fina (1 a 5 mm) da poeira atmosférica. Eficiência satisfatória contra fumaças de óleo e tabaco. Razoavelmente eficiente contra bactérias e fungos microscópicos.	Pré-filtro para filtros absolutos. Precisa pré-filtragem por sua vez.

TABELA 6.3. - CLASSIFICAÇÃO E APLICAÇÕES DOS FILTROS DE AR PARA SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E SALAS LIMPAS - CONTINUAÇÃO

<i>Classe do filtro</i>	<i>Eficiência (%)</i>	<i>Características</i>	<i>Aplicações principais</i>
A1	85-97,9	Boa eficiência contra a fração ultra-fina (< 1mm) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias e fungos microscópicos.	Salas de controle do teor de poeira. Precisa pré-filtragem.
A2	98-99,96	Alta eficiência contra a fração ultra-fina (< 1mm) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias e fungos microscópicos.	Salas com controle do teor de poeira; zonas assépticas de hospitais (exigências altas). Precisa pré-filtragem.
A3	99,97 e acima	Eficiência excelente contra a fração ultra-fina (< 1mm) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias e fungos microscópicos.	Salas limpas das classes 100, 10.000 e 100.000. Salas e cabinas estéreis para operações cirúrgicas e ortopédicas (exigências particularmente altas). Todas as instalações que requerem teste de estanqueidade (<i>leak test</i>). Precisa pré-filtragem.

Fonte: Norma NBR 6401



CAPÍTULO 7 - CONJUNTO VENTILADOR - MOTOR

7.1. - IMPORTÂNCIA

O conjunto Ventilador-Motor fornece a energia necessária para movimentar o fluido e vencer todas as perdas de carga (resistência) do sistema.

O ventilador é o coração de qualquer sistema de ventilação. Ele cria um diferencial de pressão através do sistema que faz o ar fluir através do mesmo. A seleção do ventilador adequado a sua performance são vitais para o correto funcionamento de todo o sistema.

7.2. - CLASSIFICAÇÃO DOS VENTILADORES

Os ventiladores são usualmente classificados de acordo com a direção de movimentação de fluxo através do rotor. Assim tem-se os ventiladores centrífugos e os axiais, os quais estão ilustrados na Figura 7.1. Os centrífugos são destinados a movimentação de ar numa ampla faixa de vazão e pressão, enquanto as axiais se restringem a aplicações de baixa e média pressão (até 150 mmCA aproximadamente). Em ventilação, os ventiladores mais utilizados são os centrífugos, os quais estão disponíveis em quatro tipos, segundo as características de rotor ou seja, de pás radiais; de pás para trás; de pás curvadas para frente e o *radial tip*.

- **Ventiladores centrífugos radiais:** São ventiladores robustos, para trabalho pesado e destinados a movimentar fluido com grande carga de poeira, poeiras pegajosas e corrosivas. Apresentam eficiência baixa, da ordem de 60% e nível de ruído mais alto. É o tipo mais simples em termos construtivos, possuem alta resistência mecânica e são mais fáceis de serem reparados em caso de avarias.
- **Ventiladores centrífugos de pás para trás:** São ventiladores de alta eficiência chegando a atingir eficiências maiores que 80% e seu funcionamento é silencioso. Uma importante característica desse ventilador é a auto-limitação de potência, característica essa importante quando a perda de carga do sistema é variável, evitando assim a sobrecarga do motor. Possuem dois tipos de pás: as aerodinâmicas e as planas. As primeiras são de grande rendimento pois permitem uma corrente mais uniforme. São empregados nos casos de grande vazões e pressões médias sendo que a economia de potência chega a compensar o maior custo de aquisição. Já os de pás planas podem ser utilizados para transportar ar sujo, já que apresentam a característica de serem autolimpantes, no entanto apresentam eficiência menor que os de pás aerodinâmicas. Chegando a atingir 80%.
- **Ventiladores centrífugos de pás curvadas para frente:** Esses ventiladores requerem menor espaço para sua instalação, apresentam baixa velocidade periférica e são silenciosos. São usados para pressões baixas e moderadas. Devido à forma, os rotores de pás para frente não são recomendados para movimentar fluidos com poeiras e fumos que possam aderir às mesmas e causar desbalanceamento do rotor e conseqüentemente vibração. A sua curva característica apresenta zona de instabilidade na qual o ventilador não deve trabalhar. Além disso, não apresenta autolimitação de potência podendo sobrecarregar o motor. A eficiência desses ventiladores é menor que os de pás para trás. São recomendados para sistema de ventilação geral e de ar condicionado onde a carga de poeiras e outras partículas é baixa.
- **Ventiladores Radial Tip:** São ventiladores de pás planas inclinadas para trás, porém com pontas que se curvam até chegarem a ser radiais. Isso ocasiona uma queda na eficiência, porém proporciona

maiores vazões. São utilizados em fornos de cimento, fábricas de celulose e papel, etc.

7.3. - CURVA OU TABELA CARACTERÍSTICA

Cada tipo de ventilador apresenta características próprias de variação de pressão, potência e eficiência em função da vazão que são apresentadas através de curvas características ou tabelas características as quais são importantes para estabelecer a região ótima de trabalho, bem como para se saber o comportamento do ventilador quando um parâmetro é alterado, como por exemplo a resistência do sistema. Aumento de resistência (perda de carga) significa queda da vazão a qual pode ser obtida na curva ou tabela característica do ventilador. Todo ventilador, portanto, deveria vir acompanhado de sua curva ou tabela característica.

Na Figura 7.2 estão mostradas as curvas característica típicas para ventiladores centrífugos, de acordo com o tipo das pás do rotor. Uma tabela características típica é apresentada na Figura 7.3.

7.4. - PRESSÃO E POTÊNCIA DO VENTILADOR

A pressão total do ventilador ($P_{t(v)}$) representa a diferença entre a pressão total na saída do ventilador ($P_{t(Sv)}$) e a pressão total na entrada do ventilador ($P_{t(Ev)}$), ou seja:

$$P_{t(v)} = P_{t(Sv)} - P_{t(Ev)}$$

A pressão estática do ventilador ($P_{e(v)}$) é por definição, a pressão total do ventilador reduzida da pressão cinética na saída ventilador ($P_{c(Sv)}$). Matematicamente, tem-se:

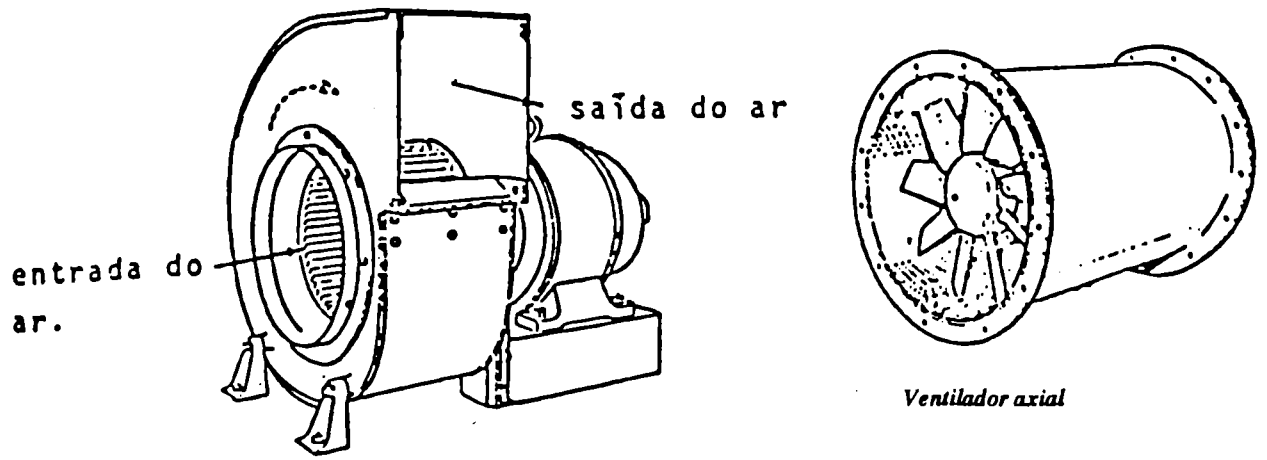
$$P_{e(v)} = P_{t(v)} - P_{c(Sv)}$$

Deve-se recordar aqui que a pressão total é a soma algébrica das pressões estática e cinética ($P_t = P_e + P_c$)

A potência requerida pelo ventilador (N_{RV}) pode ser estimada pela fórmula:

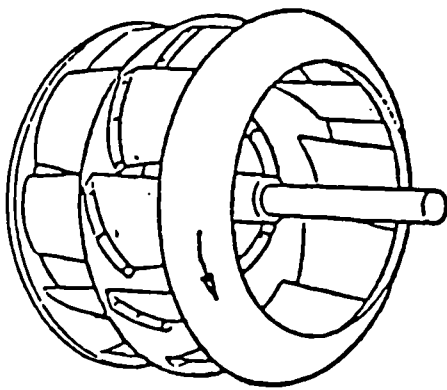
$$N_{RV} = \frac{Q \text{ (m}^3 \text{/s)} \cdot P_{t(v)} \text{ (mmCA)}}{75 \cdot E_v} \quad (\text{CV})$$

$$N_{RV} = \frac{Q_v \text{ (cfm)} \cdot P_{t(v)} \text{ (polCA)}}{6356 \cdot E_v} \quad (\text{HP})$$

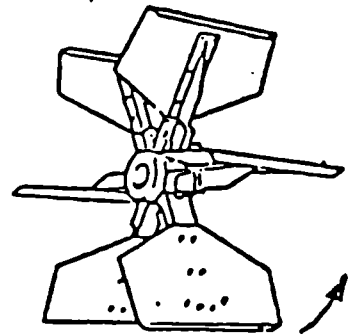


Ventilador centrífugo

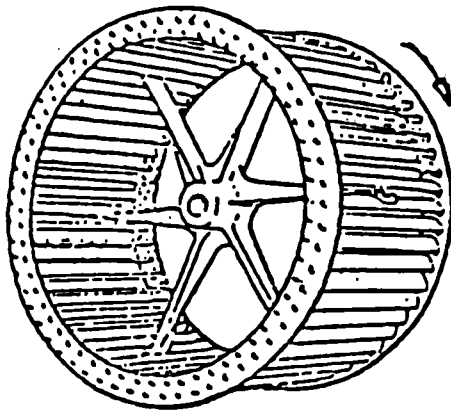
Ventilador axial



Rotor de pás radiais

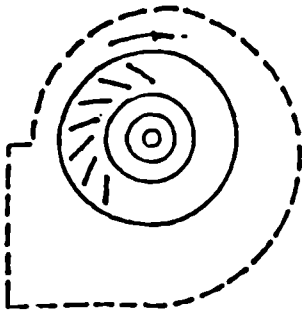


Rotor de pás para trás

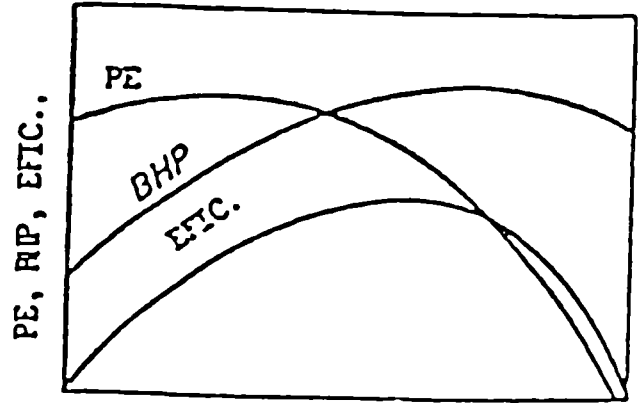


Rotor de pás para frente

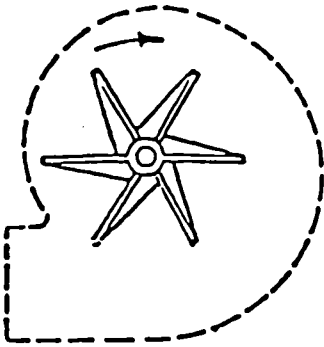
Figura 7.1 - Tipos de ventiladores e rotores



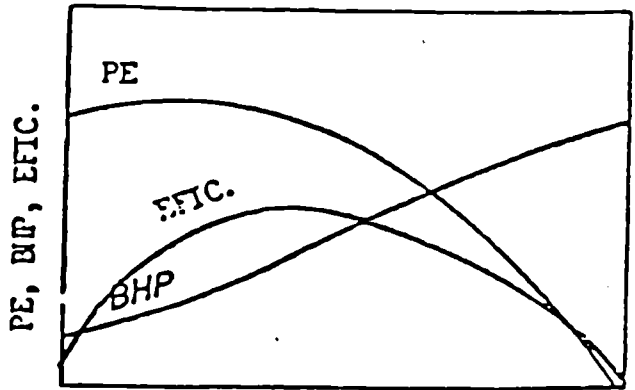
Pás para trás



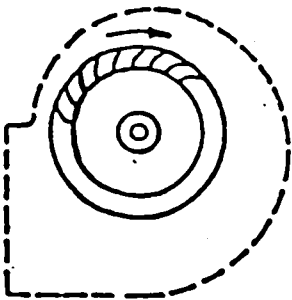
Vazão



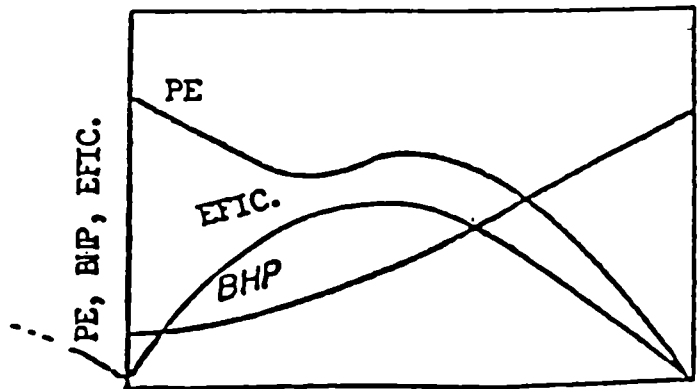
Pás radiais



Vazão



Pás curvadas para frente



Vazão

Figura 7.2 - Curva características de ventiladores centrífugos

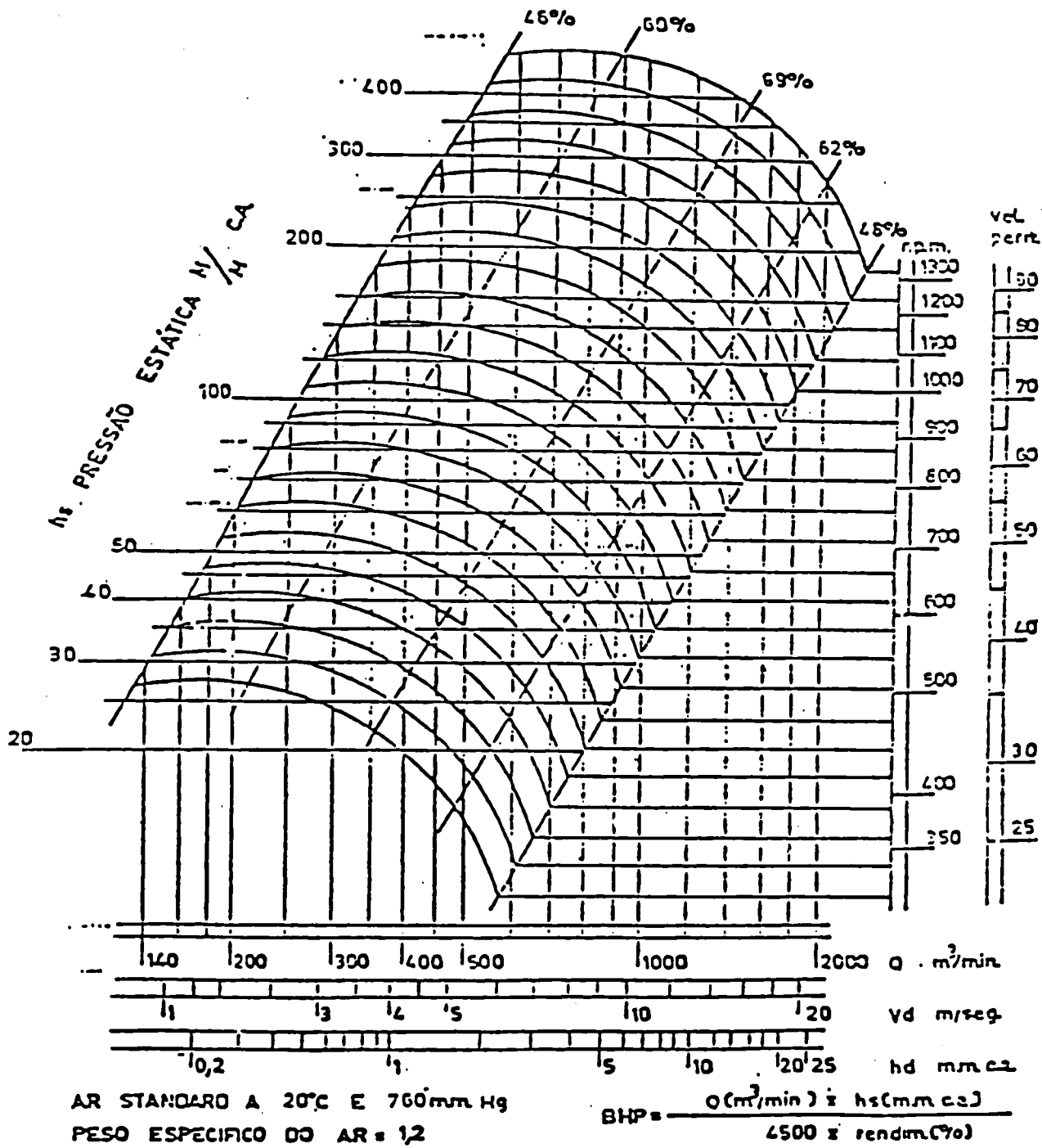


Figura 7.3. - Curva característica real

TABELA 7.1. - EXEMPLO DE TABELA CARACTERÍSTICA DE VENTILADORES

Volume (pés ³ /min.)	Velocidade de saída (pés/min.)	1" S. P.			1 1/4" S. P.			1 1/2" S. P.			1 3/4" S. P.			2" S. P.			2 1/2" S. P.			3" S. P.		
		Veloc. na ponta do pé	RPM	BMP	Veloc. na ponta do pé	RPM	BMP	Veloc. na ponta do pé	RPM	BMP	Veloc. na ponta do pé	RPM	BMP	Veloc. na ponta do pé	RPM	BMP	Veloc. na ponta do pé	RPM	BMP	Veloc. na ponta do pé	RPM	BMP
5418	700	4488	440	1,20	4964	487	1,56	5474	537	2,03	5882	577	2,31	6280	617	2,67	7021	688	3,52	7667	752	4,33
6192	800	4522	443	1,32	4981	488	1,70	5491	538	2,10	5899	578	2,50	6307	618	2,95	7038	690	3,57	7684	753	4,73
6966	900	4556	446	1,46	4998	490	1,85	5508	540	2,29	5916	580	2,72	6324	620	3,17	7055	692	4,13	7701	755	5,15
7740	1000	4624	454	1,60	5032	494	2,01	5525	542	2,45	5933	582	2,95	6341	622	3,39	7072	693	4,43	7718	757	5,54
8514	1100	4709	462	1,76	5083	498	2,19	5542	544	2,67	5967	586	3,13	6358	624	3,63	7089	695	4,74	7735	758	5,82
9288	1200	4862	476	1,97	5202	510	2,42	5593	548	2,91	6001	588	3,38	6375	626	3,94	7106	697	5,05	7752	760	6,22
10062	1300	5015	492	2,18	5321	522	2,74	5695	558	3,14	6052	594	3,63	6409	628	4,20	7123	698	5,35	7769	762	6,37
10836	1400	5168	506	2,41	5474	536	2,90	5831	572	3,43	6137	602	3,93	6494	636	4,49	7140	700	5,63	7803	765	6,90
11610	1500	5338	524	2,67	5644	554	3,19	5984	586	3,73	6273	616	4,22	6579	646	4,82	7191	705	6,00	7837	768	7,30
12384	1600	5525	542	3,05	5814	570	3,49	6137	602	4,03	6443	652	4,60	6732	660	5,18	7259	712	6,44	7871	772	7,73
13158	1700	5712	560	3,28	5984	586	3,78	6307	618	4,39	6596	646	4,98	6885	676	5,58	7378	723	6,81	7905	775	8,10
13952	1800	5899	578	3,68	6171	606	4,17	6477	636	4,75	6749	662	5,36	7030	690	6,01	7531	738	7,35	8007	785	8,63
14706	1900	6120	600	4,06	6375	626	4,60	6664	654	5,15	6902	678	5,75	7191	706	6,45	7684	753	7,80	8109	795	9,15
15480	2000	6358	624	4,53	6379	646	5,06	6851	672	5,61	7089	696	6,19	7344	720	6,90	7837	768	8,34	8279	812	9,70
17028	2200	6817	668	5,53	6970	684	6,05	7225	708	6,68	7497	736	7,35	7684	754	7,92	8160	800	9,40	8602	843	11,19
18576	2400	7276	714	6,65	7446	730	7,30	7650	750	7,93	7837	768	8,59	8075	792	9,30	8500	834	10,70	8925	875	12,36
20124	2600	7820	766	7,96	7922	776	8,69	8109	796	9,38	8279	812	10,00	8466	830	10,83	8874	870	12,50	9246	907	13,85
21672	2800	8330	816	9,59	8466	830	10,28	8585	842	10,95	8755	858	11,99	8988	874	12,48	9248	907	14,05	9588	940	15,96
23220	3000	8857	868	11,33	8959	878	12,05	9095	892	12,84	9231	906	13,63	9367	918	14,44	9656	947	15,98	9979	978	17,64
24768	3200	9418	924	13,28	9503	932	14,18	9605	942	14,86	9690	950	15,70	9843	966	16,64	10132	993	18,23	10387	1018	20,06
26916	3400	9979	978	13,48	10030	984	16,33	10115	992	17,28	10217	1002	18,00	10319	1012	18,88	10608	1040	20,58	10863	1065	22,43

Sendo Q_v a vazão volumétrica, $P_{t(v)}$ a pressão total do ventilador e E_v a eficiência mecânica total do ventilador, a potência real deve ser obtida nas tabelas ou curvas características do ventilador escolhido, a qual é válida para as condições especificadas na curva ou tabela. Para condições de pressão e temperatura diferentes daquela deve-se fazer a devida correção pela relação de densidade da condição real e da condição da curva ou tabela característica.

Quando as condições reais do fluido no ventilador, ou seja, a densidade do fluido, for diferente das condições estabelecidas para a curva ou tabela características deve-se proceder da seguinte forma:

- A) Considerar a vazão de entrada na tabela ou curva característica igual à vazão real a ser movimentada pelo ventilador.
- B) Utilizar a pressão equivalente do ventilador, para as condições da curva ou tabela característica determinada da seguinte forma:

$$P_{e(\text{equiv})} = P_{e(\text{real})} \times \frac{1}{F_d}$$

$$P_{t(\text{equiv})} = P_{t(\text{real})} \times \frac{1}{F_d}$$

Sendo

$$F_d = \frac{\rho_{\text{real}}}{\rho_{\text{curva}}} \quad (\text{Fator de Densidade})$$

- C) Determinar o "ponto de operação na curva" característica, utilizando a vazão real e pressão equivalente, conhecendo-se então a eficiência mecânica do ventilador e a rotação que serão válidas também para as condições reais.
- D) A potência equivalente ($N < \text{equiv} >$) servirá para dimensionar o motor para partida a frio e será igual a:

$$N_{(\text{equiv})} = N_{v(\text{real})} \times \frac{1}{F_d}$$

7.5. - LEI DOS VENTILADORES

Existem diversas relações que regem o estudo dos ventiladores, as quais são chamadas de Leis dos Ventiladores e são constituídas das proporcionalidades existentes entre os diversos parâmetros envolvidos, quais sejam:

- a vazão varia de acordo com a rotação, com a densidade do fluido e com o tamanho do ventilador;
- a pressão varia com o quadrado da rotação, com a densidade do fluido e com o tamanho do ventilador;
- a potência varia com o cubo da rotação, com a densidade do fluido e com o tamanho do ventilador;

A Tabela 7.2 apresenta as fórmulas que regem as leis dos ventiladores, cuja nomenclatura adotada é listada a seguir:

d = diâmetro do ventilador

Q = vazão em volume

Pe = pressão estática

rpm = rotações por minuto

HP = potência transferida ao fluido

ϖ = vazão mássica

ρ = densidade do fluido

η = eficiência mecânica do ventilador

TABELA 7.2. - FÓRMULAS QUE REGEM AS LEIS DOS VENTILADORES

<i>Parâmetros</i>	<i>Leis dos ventiladores</i>		
Ventilador exaurindo gás com densidade constante	$\frac{\varpi_1}{\varpi_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{rpm_1}{rpm_2}$	$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \frac{(rpm_1)^2}{(rpm_2)^2}$	$\frac{HP_1}{HP_2} = \frac{(rpm_1)^3}{(rpm_2)^3}$
Ventilador operando a uma rotação constante (Q = cte.)	$\frac{\varpi_1}{\varpi_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$	$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$	$\frac{HP_1}{HP_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$
Variações de acordo com o tamanho do ventilador	$\frac{Q_1}{Q_2} = \left[\frac{d_1}{d_2}\right]^3$	$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \left[\frac{d_1}{d_2}\right]^2$	$\frac{HP_1}{HP_2} = \left[\frac{d_1}{d_2}\right]^5$

Com base nessas relações, pode-se chegar a duas conclusões importantes:

- ventiladores de diversos tamanhos de uma mesma série possuem comportamento semelhante e por isso, uma vez que se faça o teste com um ventilador da série, o funcionamento dos demais poderá ser previsto de acordo com as equações acima;
- deve-se tomar cuidado com as medidas de aumento de rotação do motor para a obtenção de maiores vazões no ventilador, uma vez que a potência varia com o cubo da rotação e nem sempre o motor instalado tem capacidade para resistir a esse aumento e poderá queimar. Outros problemas que podem ocorrer são referentes à estrutura e características construtivas dos ventiladores, que podem não resistir aos aumentos de rotações aplicados sem prévio estudo.

7.6. - INTERAÇÃO VENTILADOR-SISTEMA

A curva característica exibe a variação da vazão do ventilador com a pressão contra a qual o mesmo está trabalhando, podendo-se então construir a curva de variação com a vazão, chamada de curva do sistema (vide Figura 7.4). O ponto de intersecção entre duas curvas será o ponto de operação (pontos

1, 2 ou 3, na Figura 7.4). O que se procura obter, na prática, é um ponto de intersecção que atenda às condições de vazão e pressão requeridas pelo sistema.

Na prática, muitas vezes não se consegue obter um ponto de operação adequado, sendo necessário instalar dispositivos de controle de vazão, alterar a rotação do ventilador ou mesmo substituí-lo por outro mais adequado ao caso, ou mesmo utilizar ventiladores em séries, para aumento da pressão disponível, ou em paralelo, para aumento da vazão do sistema.

A alteração de vazão ou pressão pode ser conseguida pelos seguintes métodos:

- A) ***Alteração da velocidade de rotação do ventilador:*** essa providência altera a curva do ventilador. De acordo com as leis dos ventiladores a vazão variará proporcionalmente à variação da rotação, a pressão estática variará com o quadrado da rotação, a potência variará com o cubo da variação da rotação. Para se conseguir esse efeito pode-se utilizar transmissões variáveis e motores de velocidade variável.
- B) ***"Dampers" na saída ou na entrada do ventilador:*** A introdução de uma resistência adicional no sistema altera sua curva e o ponto de intersecção na curva do ventilador. Essa resistência adicional é conseguida através da utilização de "Dampers" (registro tipo veneziana), que é o método mais utilizado devido ao seu baixo custo, fácil ajuste, pequeno espaço requerido e manutenção pouco exigente. Os dampers podem ser colocados tanto na entrada como na saída e podem ser do tipo abas paralelas ou abas opostas. (Figura 7.5).
- C) ***Controle de volume de ar na entrada do ventilador:*** A curva característica do ventilador pode ser modificada, mudando-se a rotação do ar na sucção do ventilador. Para tanto, usa-se um tipo de controle denominado de IVC (tipo catavento) ou um damper na caixa de entrada. (Figura 7.6)

Os controles de volume na entrada do ventilador têm limitações em seu uso quando estão expostos a corrosão e erosão pela presença de poluentes no caso de ventiladores localizados antes do equipamento de controle de poluição do ar. Também a exposição a altas temperaturas restringe o seu uso.

Cada solução para alteração da vazão ou pressão representará um ônus adicional em termos de potência e, portanto, em termos de custo operacional. O método que menos influencia a potência é o uso de motor de velocidade variável, vindo a seguir a transmissão variável, o controle na entrada (IVC), dampers na sucção e por último dampers na saída do ventilador. (Figura 7.7)

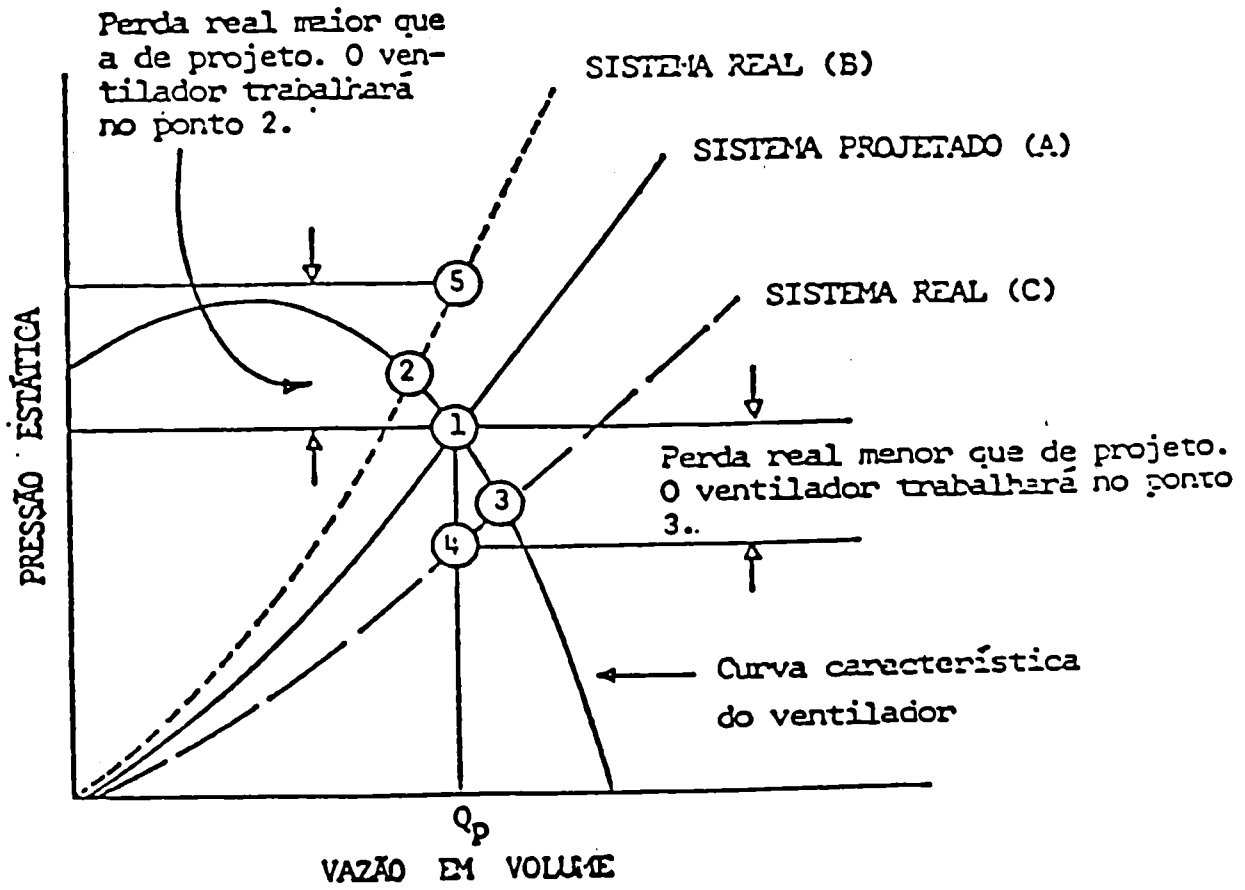
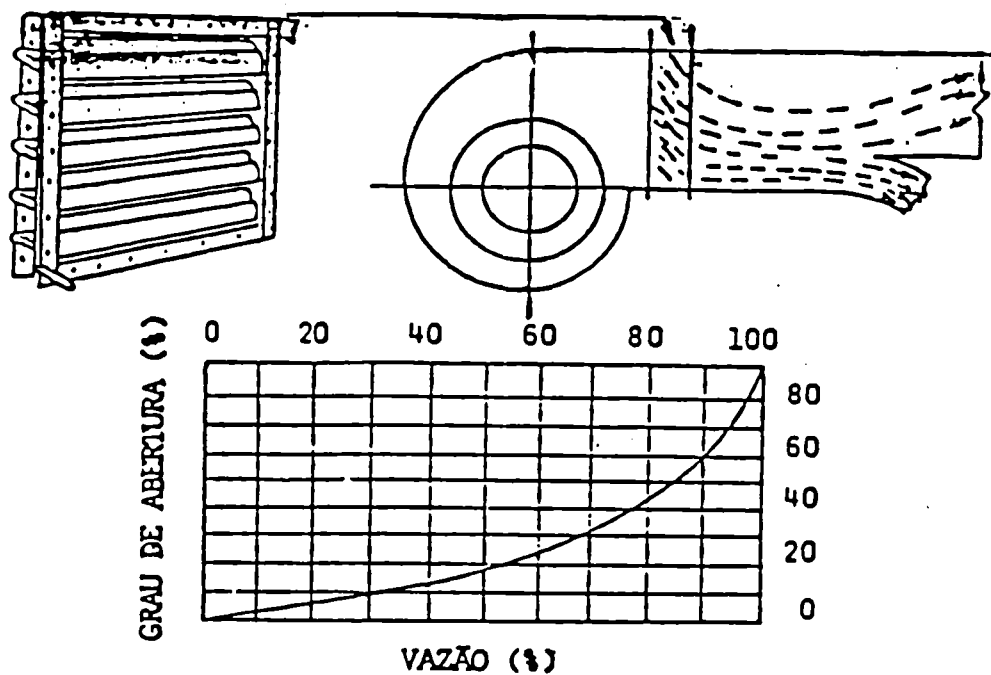
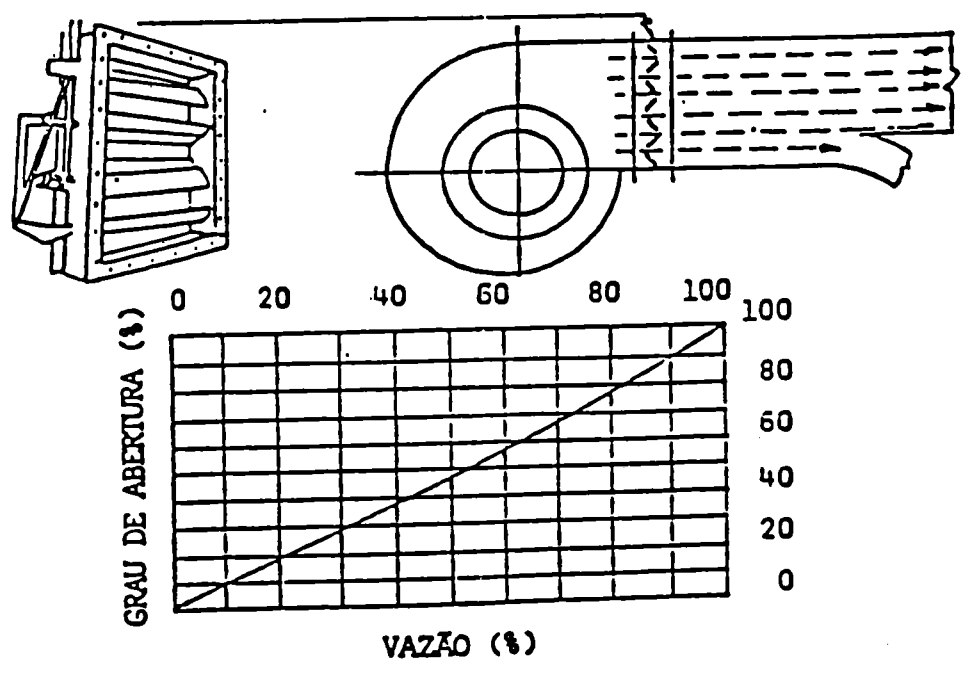


Figura 7.4 - Interação ventilador-sistema

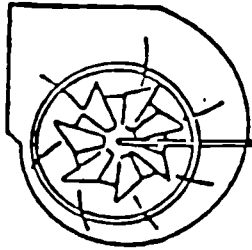


Damper de aletas paralelas e respectiva curva característica

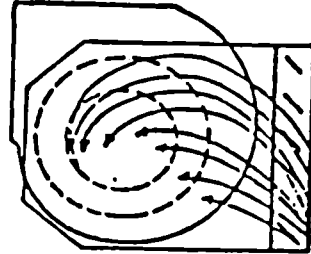


Damper de aletas opostas e respectiva curva característica

Figura 7.5 - Tipos de registros de controle de vazão



Controle de volume na entrada (IVC)



Damper na caixa de entrada

Figura 7.6 - Controle de vazão na entrada

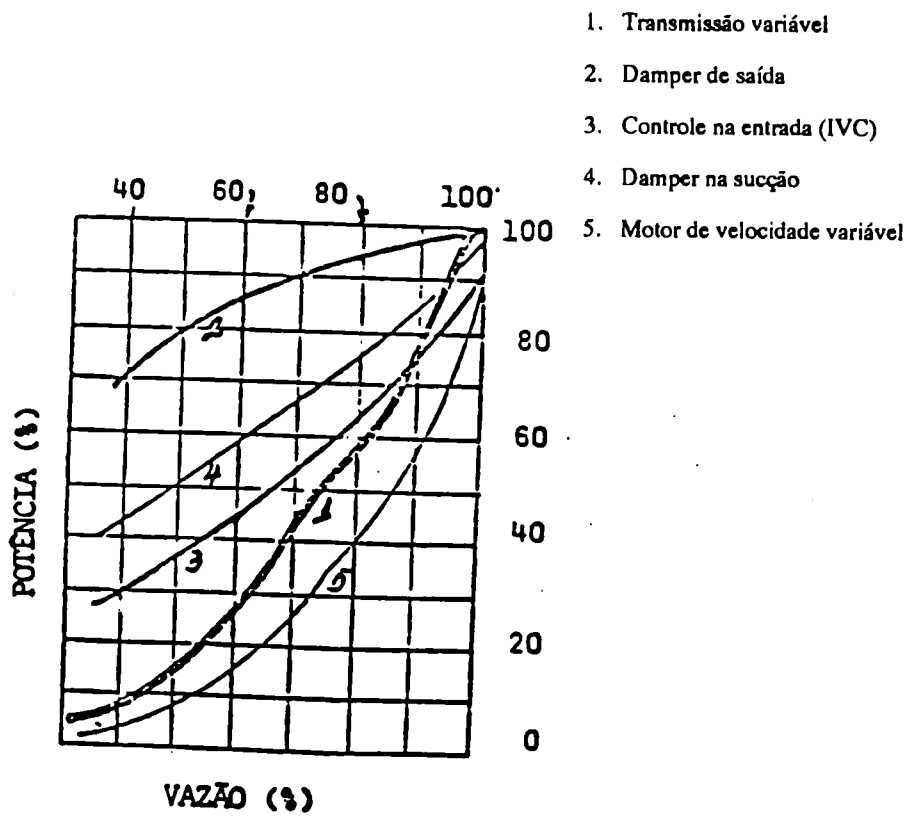


Figura 7.7 - Influência dos métodos de controle de vazão na potência do ventilador

7.7. - SELEÇÃO DO VENTILADOR

Deve ser utilizado o ventilador que proporcione a vazão necessária com a menor potência possível, que seja adequado para as características do gás e poluente a ser transportado (temperatura, corrosividade, abrasividade, adesividade, etc.) e com curvas características (Q versus P) com maior curvatura, de forma que haja pequena variação de vazão para uma dada variação de pressão. O ponto de operação deverá estar à direita do ponto máximo da curva, um pouco afastado desse ponto. Nunca deixe o ventilador funcionar em regiões instáveis. (vide Figura 7.8)

Escolha um ventilador com tamanho adequado para o caso. Isso é conseguido escolhendo-se um com ponto de operação não muito à direita do ponto máximo do curva de pressão versus vazão.

Na seleção de ventiladores para operar em condições diferentes daquela em que foi testado, é importante ter em mente que o ventilador é uma máquina de vazão voluntária que depende da rotação do mesmo. A mudança da densidade do gás alterará a pressão e potência requeridas, sendo que, se a rotação permanecer constante, a vazão voluntária não alterará, mas a pressão e a potência variarão diretamente proporcional à mudança de densidade.

Ressalta-se que a potência determinada da forma acima corresponde à potência requerida nas condições normais de operação, não sendo suficiente para partida a frio. Para solucionar o problema, usa-se um motor que agüente a partida a frio ou lança-se mão de um damper que será utilizado na partida a frio, até que a temperatura do gás atinja o valor de projeto para controle da vazão e da potência requerida.

7.8. - USO DE VENTILADORES EM SÉRIE E EM PARALELO

Dois ou mais ventiladores podem ser utilizados em série ou em paralelo, caso não haja condições de ser utilizado um só ventilador por insuficiência de pressão ou de vazão. No caso de ventiladores em série, a vazão que passará pelos diversos ventiladores é a mesma, aumentando-se a pressão disponível necessária, sendo que a vazão total será a soma dos ventiladores em paralelo utilizados.

A curva do sistema deverá interceptar a curva combinada dos ventiladores, seja em série ou em paralelo. Para melhor eficiência e menos problemas operacionais, recomenda-se o uso de ventiladores idênticos quando em série ou em paralelo.

7.9. - LOCALIZAÇÃO DO VENTILADOR

A localização do ventilador exerce papel importante na sua escolha. Um ventilador localizado antes do equipamento de controle de poluição do ar (filtro) estará sujeito à agressividade do material movimentado, como alta carga de partículas. O seu uso após um equipamento de controle do tipo lavador tem também desvantagem por estar movimentando ar com alta umidade, ocasionando problemas sérios de corrosão.

A vazão e a potência do ventilador também são função do ponto em que o mesmo está localizado no sistema, apesar de que, na maioria dos casos, a localização do ventilador após o equipamento de controle não apresente alteração tão significativa.

No caso de sistemas úmidos (lavadores), devem ser analisados os parâmetros custo, vida útil e problemas de manutenção nas duas posições possíveis, para a tomada de decisão.

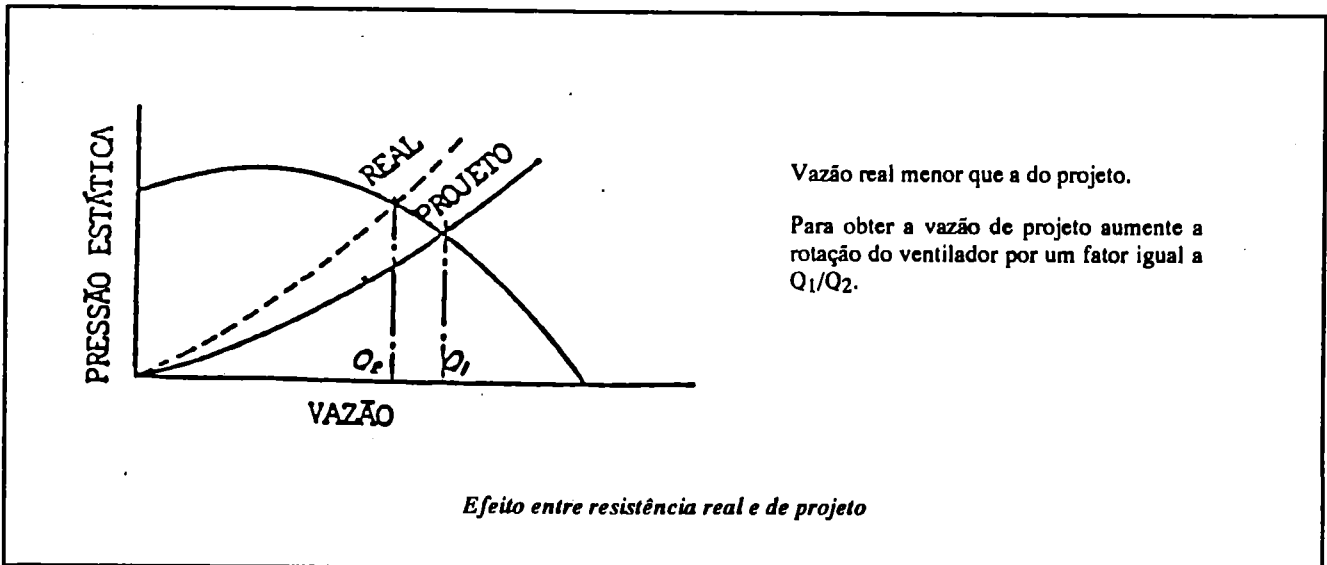
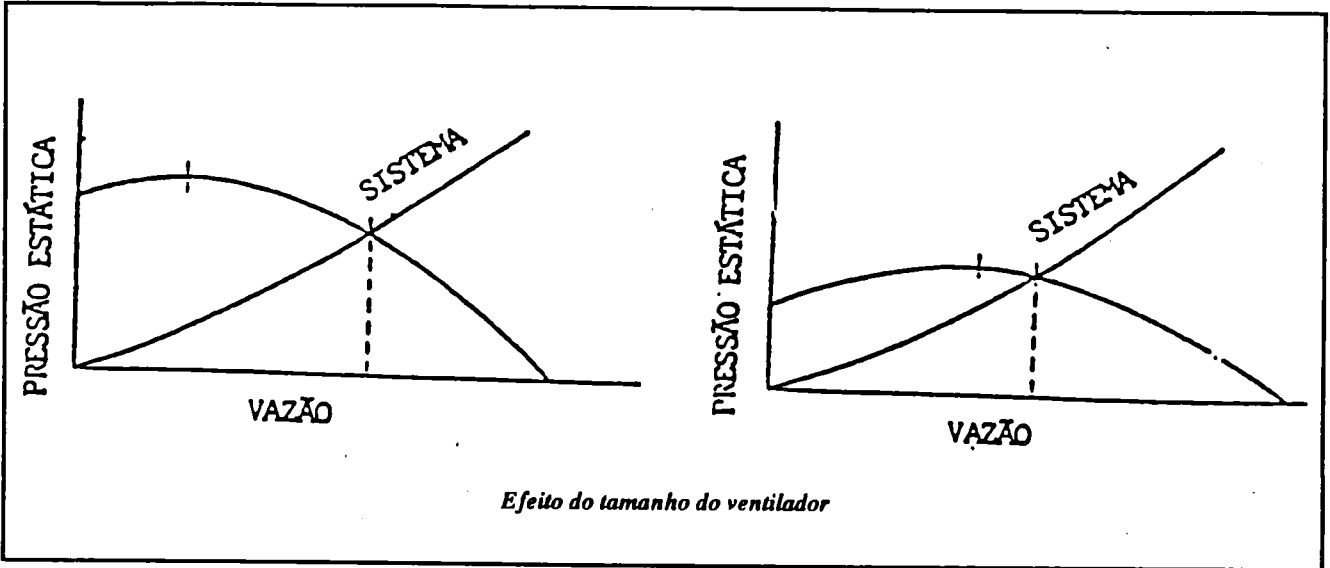
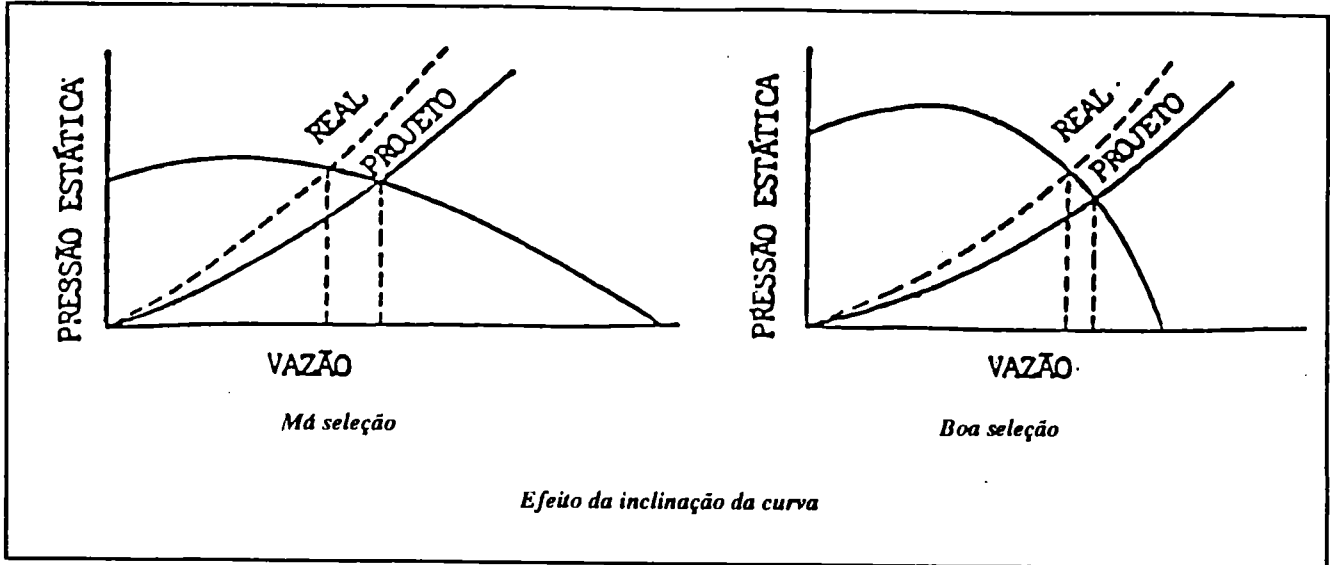


Figura 7.8 - Seleção do ventilador em função do ponto de operação

7.10. - INSTALAÇÃO

A instalação adequada do ventilador é um fator importante para que o ventilador funcione sem vibrações, tenha vida útil dentro dos padrões aceitáveis e não ofereça perigo às pessoas que trabalham nas suas proximidades. Lembre-se que o ventilador é uma máquina rotativa com partes que se movimentam a altas velocidades e portanto deve oferecer segurança durante sua operação. Os limites de temperatura e rotação devem ser observados.

Não consulte apenas as recomendações do fabricante, mas cumpra também as normas de segurança industrial. Só use ventiladores industriais que tenham sido previamente balanceados.

A instalação do ventilador deve ser feita por pessoas especializadas, de preferência pelo fabricante, ou sob sua supervisão ou orientação. A instalação deve ser precedida do transporte, recepção, inspeções, manuseio e armazenagem adequados.

Para uma operação livre de problemas, utilize uma fundação.

7.11. - INTERLIGAÇÃO DO SISTEMA

A interligação do sistema deve seguir rigorosamente o projeto. Lembre-se que a performance do ventilador poderá ser seriamente afetada por condições inadequadas de entrada e saída do ventilador pela adição de resistência ao sistema (perda de carga). As características do ventilador são sempre determinadas para as condições boas de fluxo na entrada e saída. Verifique se as condições de entrada e saída previstas em projetos foram consideradas na seleção do ventilador.

7.12. - MOTOR

O motor é um ponto fundamental no sistema, pois o não provimento da energia de movimentação necessário significará alteração nas condições de funcionamento do ventilador e, portanto, na vazão por ele movimentada.

A potência do motor deve ser suficiente para fornecer a energia requerida pelo ventilador e pelo sistema, em todas as condições em que trabalhará o sistema. A potência requerida do motor (N_{RM}) será a potência requerida do ventilador acrescida das perdas por transmissão, ou seja:

$$N_{RM} = \frac{N_{RV}}{E_T}$$

Onde:

N_{RV} = potência requerida do ventilador

E_T = eficiência de transmissão moto-ventilador.

Devem também ser levados em consideração na escolha do motor a inércia do rotor do ventilador (conhecida como WR^2 pelos fabricantes) e as características de torques de partida do motor elétrico. Um tempo excessivo na partida para atingir a condição normal de trabalho do ventilador elevará a temperatura do motor, podendo danificá-lo.



CAPÍTULO 8 - CHAMINÉ

A chaminé é parte integrante do sistema de transporte dos poluentes que tem como finalidade o lançamento do gás transportador, que contém a emissão residual, na atmosfera. O seu projeto deve levar em consideração a proteção do ventilador contra água de chuva quando este estiver localizado imediatamente antes da chaminé.

Para proteção contra chuva vários métodos podem ser utilizados conforme mostrado na Figura 8.1. Deve-se ressaltar que a proteção tipo "chapéu chinês" não é recomendada, em casos em que há necessidade de promover uma boa dispersão da emissão residual na atmosfera e, como regra geral, não deve ser utilizada.

A boa prática de engenharia de controle de poluição do ar recomenda condições a serem observadas no projeto de chaminés, em relação à altura e velocidade de saída dos gases, que são basicamente as seguintes:

- A) Altura mínima de 2,5 (duas e meio) vezes a altura da cumieira do prédio que contém a chaminé ou dela contíguo, ou seja, a altura da chaminé não deve ser inferior a $(H + 1,5 L)$ onde H é a maior altura das edificações e estruturas próximas à chaminé e L a largura ou altura (a menor das duas) das edificações e estruturas próximas à chaminés.
- B) Velocidade de saída do fluxo gasoso de 1,5 vezes a velocidade do vento. Em geral, uma velocidade de saída dos gases na faixa de 18 (dezoito) a 21 (vinte e um) m/s atende ao requisito acima, em grande parte do tempo.
- C) A saída dos gases deverá ser na vertical, não se recomendando a utilização de cotovelos ou chapéu chinês.

A recomendação de altura da chaminé mencionada acima é de caráter geral e deverá ser utilizada com bom senso para fontes de pouco significado, ou mesmo para aquelas cuja emissão seja de produtos da combustão de combustíveis gasosos. Nestes casos, dever-se-á obedecer à recomendação de altura mínima de 2 (dois) a 5 (cinco) metros acima da cumieira do prédio.

Uma outra maneira de determinar a altura necessária para a chaminé é através da aplicação de modelos de dispersão atmosférica, que fogem do alcance do presente curso. No entanto, as condições, acima são as mínimas a serem observadas.

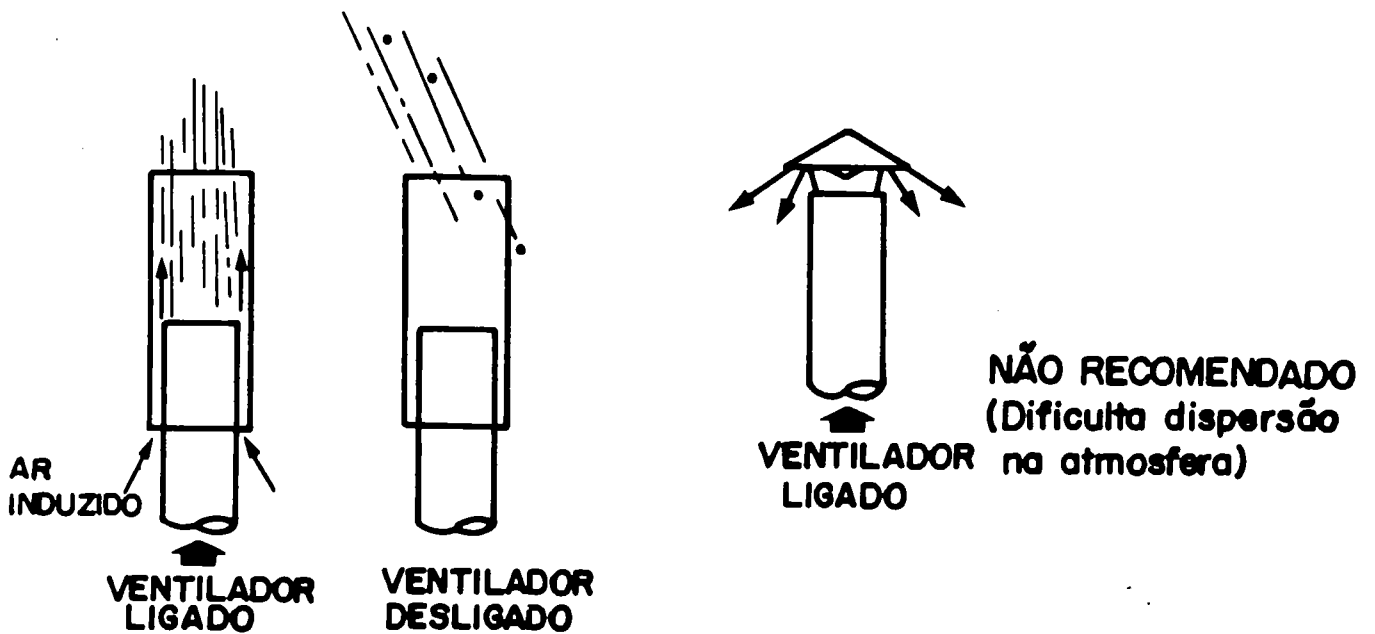
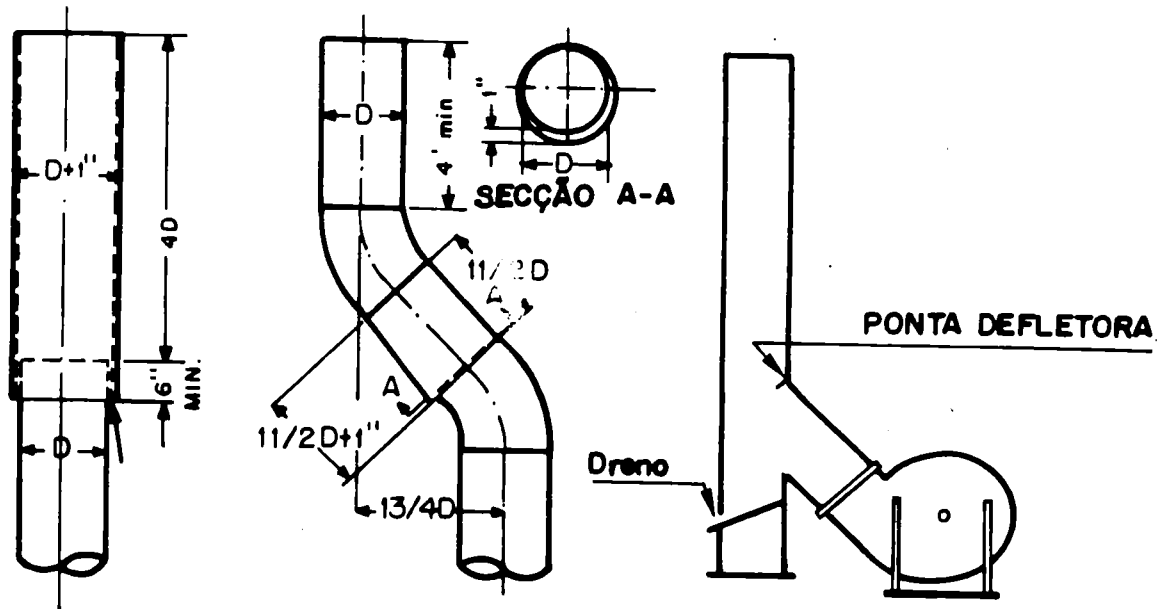


Figura 8.1. - Tipos de chaminés

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDEN, J. L.; KANE, J. R. *Design of industrial exhaust systems*. New York, Industrial Press, 1982.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). *Industrial ventilation - a manual of recommended practice*. Cincinnati, ACGIH, 1994.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). *Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices: 1994-1995*. Cincinnati, ACGIH, 1994.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). *várias publicações*.
- COSTA, E. C. *Física aplicada à construção - conforto térmico*. São Paulo, Edgard Blucher, 1981.
- DANIELSON, J. A. *Air pollution engineering manual*. Research Triangle Park, NC, U. S. Environmental Protection Agency, 1973.
- HEMEON, W. C. L. *Plant and process ventilation*. New York, Industrial Press, 1964.
- JORGENSEN, R. (Ed.) *Fan Engineering*. New York, Buffalo Forge Co., 1982.
- MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. *Engenharia de ventilação industrial*. São Paulo, CETESB, 1988.
- YAMANE, E. e SAITO, H. *Tecnologia do condicionamento de ar*. São Paulo, Edgard Blucher, 1986.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

ANEXOS

ANEXO 1 - TRANSFORMAÇÃO DE UNIDADES

1. **Comprimento:**

- 1 . ft (pés) = 12" = 0,3048 m = 30,48 cm
- 1" = 2,54 cm (1" = 1 in = 1 polegada)
- 1 m = 39,37" = 3,28083 ft (ou 3,28 ft)
- 1 micrometro = 10^{-3} mm = 10^{-4} m = 10^{-6} m

2. **Área:**

- 1 m² = 10,76 ft² = 1550 in² = 10⁴ cm²
- 1 ft² = 144 in² = 0,0929 m²

3. **Volume:**

- 1 ft³ = 28,32 l = 1728 in³ = 7,48 gal
- 1 m³ = 35,31 ft³
- 1 in³ = 16,39 cm³
- 1 galão (USA) = 3,785 l = 0,1337 ft³ = 231 in³
- 1 bbl (barril ou U. S. barrel) = 42 gal = 158,97 l

4. **Massa:**

- 1 lb (libra, pound) = 453,59 g = 0,45359 kg
- 1 kg = 2,205 lb
- 1 T métrica = 1000 kg = 1,102 t curta = 2205 lb

5. **Massa Específica:** 1 g/cm³ = 62,4 lb/ft³ = 8,33 lb/gal

6. **Velocidade:**

- 1 fpm (pés/min) = 0,00508 m/s = 0,3048 m/min
- 1 m/s = 196,85 fpm

7. **Pressão:**

- 1 atm* = 760 mm Hg = 10,33 m H₂O = 29,92" Hg = 33,93 ft H₂O = 14,691 psi
- 1 psi = 0,0703 kg/cm² = 2,309 ft H₂O
- 1 atm técnica = 1 kg/cm² = 0,9678 atm física¹;
- 1" H₂O a 60°F = 0,0361 psi
- (ata = atmosfera absoluta, psia = lb/in² absoluta, psia = lb/in² manométrica)

8. **Energia:**

- 1 kcal = 1000 cal = 3,966 Btu
- 1 Btu = 252 cal = 0,252 kcal = 0,293 wh = 778 ft . lb

1 kgm = 7,2 ft . lb

1 HP . h = 2545 Btu = 2,737 . 10⁵ kgm

1 watt . h = 3,413 Btu

9. **Potência:**

1 HP = 76,04 kgm/s = 550 ft . lb/s = 0,7457 kw

1 HP = 33000 ft . lb/min = 1,014 CV

1 watt = 14,34 cal/min = 44,24 ft . lb/min

1 kw = 1,3415 HP = 56,92 Btu/min

1 Btu/min = 0,0236 HP

1 TR (tonelada de refrigeração) = 3024 kcal/h

10. **Temperatura:**

- Escala Relativa

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = 32 + 1,8^{\circ}\text{C}$$

(^oC = graus Celsius; ^oF = graus Fahrenheit)

- Escala Absoluta

K = 273 + ^oC

R = 460 + ^oF

R = 1,8^oK

(K = Kelvin; R = Rankine)

11. **Viscosidade:**

1 poise = 1 g/cm . s = 100 cp

1 cp = 0,01 p = 0,001 kg/m . s = 3,6 kg/m . h = 0,000672 lb/ft . s = 2,42 lb/ft . h

12. **Condutividade térmica:**

K em kcal/h . m² . (^oC) = 1,488 . k em Btu/h . ft² . ^oF

13. **Coefficiente de transmissão de calor:**

1 kcal/h . m² . ^oC = 4,88 Btu/h . ft² . ^oF

14. **Constantes:**

R = 0,082 atm . l/^oK . mol = 1,987 cal/^oK . mol = 1546 ft . lb/^oR . lbmol

J = 4,18 j/cal = 778 ft . lb/Btu = 427 kgm/kcal

¹ Atmosfera física = 1,033 kg/cm²

$$g = 981 \text{ cm/s}^2 = 9,81 \text{ m/s}^2 = 32,2 \text{ ft/s}^2 = 4,18 \cdot 10^8 \text{ ft/h}^2 = 1,271 \cdot 10^5 \text{ m/h}^2$$

$$\text{Volume molar} = 22,41 \text{ l/mol} = 359 \text{ ft}^3/\text{lbmol nas C. N.}$$

$$(\text{C. N. condições normais} = 0^\circ\text{C e } 1 \text{ ata} = 320^\circ \text{ F e } 14,7 \text{ psia})$$

15. *Algumas conversões práticas:*

<i>De</i>	<i>Para</i>	<i>Multiplique por</i>	<i>Divida por</i>
pé ³ /min (cfm)	m ³ /h	1,7	0,59
pé/min (fpm)	m/s	0,0051	197
HP	CV	1,014	0,986
BTU	kcal	0,252	3,968

ANEXO 2 - EXERCÍCIOS DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

EXERCÍCIO 1

Calcular a variação da temperatura e a concentração de dióxido de carbono (CO₂) numa sala de 12 m x 5 m x 2,7 m, na qual 30 adultos do sexo masculino realizam trabalhos leves. Considerar isolamento térmico perfeito.

Outros dados:

Concentração inicial de CO₂ = 300 ppm

Produção de CO₂ na respiração = 85% do oxigênio consumido

1 litro de O₂ consumido = 5 kcal

EXERCÍCIO 2

Uma confecção está instalada num galpão de 20 m x 50 m x 4 m. As paredes são de tijolo furado com reboco de 1/2". As paredes maiores têm 5 janelas de 4 m x 1 m. O telhado é de telhas de cimento amianto corrugado sem forro. No local trabalham 45 mulheres e 10 homens. Existem 30 máquinas de costura com motor de 0,22 HP. Uma das paredes menores está dirigida para norte. Calcular a taxa de ventilação de forma a evitar que a temperatura interna não ultrapasse em 5°C a temperatura externa.

EXERCÍCIO 3

Um adesivo contendo 60% de xileno como solvente é aplicado numa operação industrial a base de 1,5 l/h. Determine a vazão de ar necessária para diluir o solvente a nível do TLV.

Outros dados:

- GE = 0,881
- M = 106,16 kg/kgmol

EXERCÍCIO 4

Numa operação de stripping (retirada) de solvente de tinta são emitidos cloretos de metileno (diclorometano) e álcool metílico (metanol). Ambos possuem propriedades narcóticas. Amostras do ar deste setor indicaram que a concentração de cloreto de metileno é de 60 ppm e a de metanol 100 ppm. Verifique se o TLV da mistura está ultrapassado e em caso positivo calcule a taxa de ventilação necessária para diluí-los ao valor permitido, considerando uma taxa de evaporação de 1,3 kg/hora de cada solvente.

EXERCÍCIO 5

Quatro litros de tolueno evaporam numa operação de secagem de adesivo a 90°C. Observações mostram que a maior parte do solvente evapora nos 10 primeiros minutos de secagem. Determinar a taxa de ventilação necessária para manter a concentração abaixo de 20% do limite inferior de explosividade (LIE).

Outros dados:

- LIE = 1,27%
- GE = 0,87
- M = 92

EXERCÍCIO 6

Considere um galpão de 1.500 m³ de volume onde é aplicada uma taxa de ventilação de 10.000 m³/h. Considerando a emissão de um solvente, xileno por exemplo, neste ambiente à taxa de 1 m³/h, determinar:

- a máxima concentração que seria atingida neste galpão para um tempo bastante longo.
- o tempo que levará para a concentração do poluente atingir 150 ppm, considerando concentração zero no início;
- a concentração do poluente após 1 hora do início da emissão, considerando concentração zero no início;
- o tempo para que a concentração obtida no caso c caia para 25 ppm.

EXERCÍCIO 7

Determinar a vazão, velocidade no duto e fator de perda de carga de um captor tipo coifa, no qual foi medida uma pressão estática de 0,69" CA. O diâmetro da tubulação após o captor é de 12 polegadas e o coeficiente de entrada é de 0,894.

EXERCÍCIO 8

Determinar a vazão requerida para a exaustão de tremonha com carga manual e carga mecânica. A face do captor tem 1 m x 1,5 m. Qual será a perda de carga na entrada se a velocidade no duto após o captor for de 18 m/s? Qual é a pressão estática do captor?

Outros dados:

- Velocidade da correia = 1 m/s
- Largura da correia = 0,6 m

EXERCÍCIO 9

Calcular a vazão e as dimensões de uma coifa para forno cadinho de fusão de alumínio que opera na temperatura de 700°C. O diâmetro do forno, é de 1 m. Considerar coifa a 3 pés do forno, temperatura ambiente de 25°C e forno enterrado no solo.

EXERCÍCIO 10

Determinar a vazão de exaustão e as dimensões do captor para um forno de zincagem a fogo que opera na temperatura de 45°C. As dimensões do forno são 1,2 m x 7 m x 1 m (largura, comprimento, altura). O captor deverá estar localizado a 2 metros da superfície superior do forno.

Observações:

- A) principais fumos emitidos: cloreto de amônia (68%), óxido de zinco (16%), zinco (5%) e cloreto de zinco (4%).
- B) os produtos de combustão têm exaustão independente.

ANEXO 3 - CONSTANTES FÍSICAS DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS

<i>Substância</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Gravidade específica</i>	<i>TLV (1993) (ppm)</i>	<i>Limite de explosividade inferior (%)</i>	<i>Limite de explosividade superior (%)</i>
Acetaldeído	44,05	0,821	25 (A3)	3,97	57,0
Ácido acético	60,05	1,049	10	5,40	-
Anidrido acético	102,09	1,082	5	2,67	10,13
Acetona	58,08	0,792	750	2,55	12,80
Acroleína	56,06	0,841	0,1	-	-
Acrlonitrila	53,06	0,806	2	3,05	17,0
Amônia	17,03	0,597	25	15,50	27,0
Acetato de amila	130,18	0,879	100	1,10	-
Álcool isoamílico	88,15	0,812	100	1,20	-
Anilina	93,12	1,022	2	-	-
Arsina	77,93	2,695	0,05	-	-
Acetato de etila	88,10	0,901	400	2,18	11,4
Álcool etílico	46,07	0,789	1000	3,28	18,95
Acetato de metila	74,08	0,928	200	3,15	15,60
Acetato de propila	102,13	0,886	200	1,77	8,0
Benzeno	78,11	0,879	10 (A2)	1,40	7,10
Bromo	159,83	3,119	0,1	-	-
Butano	58,12	2,085	800	1,86	8,41
Butadieno 1,3	54,09	0,621	10 (A2)	2,00	11,50
Brometo de etila	109,98	1,430	5 (A2)	6,75	11,25
Brometo de metila	94,95	1,732	5	13,5	14,5
Cloro	70,91	3,214	0,5	-	-
2-Clorobutadieno	88,54	0,958	10	-	-
Clorofórmio	119,39	1,478	10	-	-
1-Cloro-1-nitropropano	139,54	1,209	2	-	-
Cicloexano	84,16	0,779	300	1,26	7,75
Cicloexanol	100,16	0,962	50	-	-
Cicloexanona	98,14	0,948	25	-	-
Cicloexeno	82,14	0,810	300	-	-
Cloreto de etila	64,52	0,921	1000	3,6	4,80
Cloreto de metila	50,49	1,785	50	8,25	18,70
Cloreto de vinila	62,50	0,908	5 (A1)	4	21,70
Dissulfeto de carbono	76,13	1,263	10	1,25	50,0
Dicloro-difluor-metano	120,92	1,486	1000	-	-
1,1-Dicloro-etano	98,97	1,175	100	-	-
1,2-Dicloro-etano	98,97	1,257	10	6,2	15,9
1,2-Dicloro-etileno	96,95	1,291	200	9,7	12,8
Dicloro-metano	84,94	1,336	50	-	-
Dicloromonofluormetano	102,93	1,426	10	-	-
1,1-Dicloro-1-nitroetano	143,97	1,692	2	-	-
1,2-Dicloro-propano	112,99	1,159	75	3,4	14,5
Dicloro-tetrafluor-etano	170,93	1,433	1000	-	-
Dimetilnilina	121,18	0,956	5	-	-
Dimetilsulfato	126,13	1,332	0,1 (A2)	-	-
Éter isopropílico	102,17	0,725	250	-	-
Dioxano	88,10	1,034	25	-	-
Dióxido de enxofre	64,07	2,264	2	-	-
Etilbenzeno	106,16	0,867	100	-	-
Etileno-diamina	60,10	0,899	10	-	-

ANEXO 3 - CONSTANTES FÍSICAS DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS - CONTINUAÇÃO

<i>Substância</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Gravidade específica</i>	<i>TLV (1993) (ppm)</i>	<i>Limite de explosividade inferior (%)</i>	<i>Limite de explosividade superior (%)</i>
Éter etílico	74,12	0,713	400	-	-
Estireno (monômero)	104,14	0,903	50	1,1	6,1
Formaldeído	30,03	0,815	0,3 (A2)	7,0	73,0
Fosgênio	98,92	1,392	0,1	-	-
Fosfina	34,00	1,146	0,3	-	-
Gás carbônico	44,01	1,530	5000	-	-
Gasolina	86,00	0,660	300	1,3	6,0
Gás clorídrico	36,47	1,268	5	-	-
Gás cianídrico	27,03	0,688	10	5,6	40,0
Gás fluorídrico	20,01	0,987	3	-	-
Heptano	100,20	0,684	400	1,1	6,7
Hexano normal	86,17	0,660	50	1,18	7,4
Iodo	253,82	4,930	0,1	2,02	11,80
Metilacetona	72,10	0,805	200	1,81	9,50
Monóxido de carbono	28,10	0,968	25	12,5	74,2
Metanol	32,04	0,792	200	6,72	36,5
Metilcicloexano	98,18	0,769	400	1,15	-
Metilcicloexanol	114,18	0,934	50	-	-
Metilcicloexanona	122,17	0,925	50	-	-
Metilisobutilcetona	100,16	0,801	50	-	-
Monocloro-benzeno	112,56	1,107	10	-	-
Monofluór-triclorometano	137,38	1,494	1000	-	-
Mononitrotolueno	137,13	1,163	2	-	-
Metilpropanona	86,13	0,816	200	1,55	8,15
N-butanol	74,12	0,810	50	1,45	11,25
N-acetato de metila	116,16	0,882	200	1,39	7,55
Níquel-carbonila	170,73	1,310	0,05	-	-
Nitrobenzeno	123,11	1,205	1 (A2)	1,8	-
Nitroetano	75,07	1,052	100	-	-
Nitroglicerina	227,09	1,601	0,05	-	-
Nitrometano	61,04	1,130	100	-	-
2-nitropropano	89,09	1,003	10 (A2)	-	-
o-Diclorobenzeno	147,01	1,305	25	-	-
Óxido de etileno	44,05	0,887	1 (A2)	3,0	80,0
Óxidos de nitrogênio					
• NO	30,00	1,037	50	-	-
• NO ₂	46,01	1,447	3	-	-
Octano	114,22	0,703	300	0,95	3,2
Ozona	48,00	1,658	0,1	-	-
Pentano	72,15	0,626	600	1,4	7,8
Propano	44,09	1,554	nd	2,12	9,35
Silicato de etila	208,30	0,933	10	-	-
Seleneto de hidrogênio	80,98	2,120	0,05	-	-
Sulfeto de hidrogênio	34,08	1,189	10	4,3	45,5
Tetracloroeto de carbono	153,84	1,595	5 (A3)	-	-
Tricloreto de fósforo	137,35	1,574	0,2	-	-
1,1,2,2-Tetracloroetano	167,86	1,588	1	-	-
Tetracloroetileno	165,85	1,624	25 (A3)	-	-
Tolueno	92,13	0,866	50	1,27	6,75
Toluidina	107,15	0,999	2	-	-
Tricloroetileno	131,40	1,466	50	-	-
Xileno	106,16	0,881	100	1,0	6,0

A1= carcinogênico humano confirmado

A2= suspeito de ação cancerígena no homem

A3= carcinogênico em animais. Evidências atuais mostram que não deve ocasionar câncer em humanos, exceto em situações e vias não-comuns.

PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR E MÉTODOS DE REFERÊNCIA SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA 03 DE 28/06/1990

<i>Poluente</i>	<i>Tempo de amostragem</i>	<i>Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>Método de medição de referência</i>
Partículas totais em suspensão	24 horas MGA	240 80	150 60	amostrador de grande volume
Dióxido de enxofre (SO_2)	24 horas MAA	365 80	100 40	pararosanilina
Monóxido de carbono (CO)	1 hora 8 horas	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	infravermelho não dispersivo
Ozônio (O_3)	1 hora	160	160	luminescência química
Fumaça	24 horas MAA	150 60	100 40	refletância
Partículas inaláveis	24 horas MAA	150 50	150 50	separação inercial/filtração
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	1 hora MAA	320 100	190 100	luminescência química

Nota:

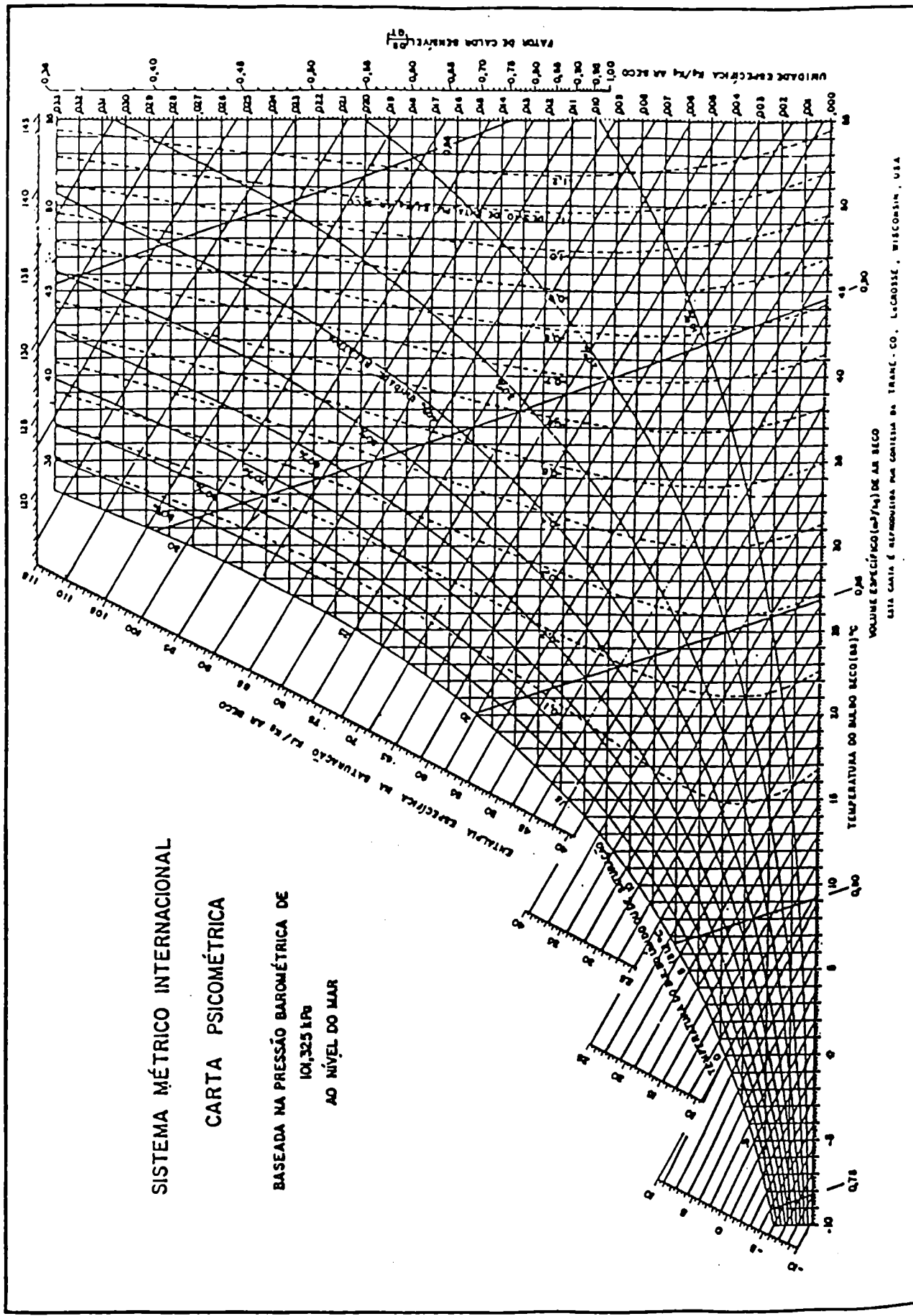
MGA = média geométrica anual

MAA = média aritmética anual

SISTEMA MÉTRICO INTERNACIONAL

CARTA PSICOMÉTRICA

BASEADA NA PRESSÃO BAROMÉTRICA DE
101,325 kPa
AO NÍVEL DO MAR

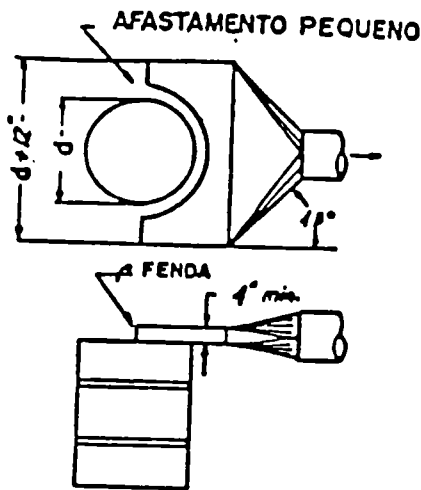


ESTA CARTA É REPRODUZIDA COM AGENCIA DA TRANE, CO., LACROSSE, WISCONSIN, U.S.A.

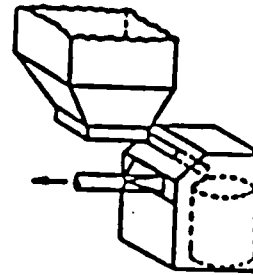
**TABELA 1 - DADOS METEOROLÓGICOS
MÉDIAS MENSAIS - 1978 A 1984 - CONTAGEM - MINAS GERAIS**

<i>Mês</i>	<i>Temperatura média do ar (°C)</i>	<i>Temperatura máxima média (°C)</i>	<i>Temperatura mínima média (°C)</i>	<i>(1º e 2º) Direção predominante dos ventos</i>	<i>Velocidade média dos ventos (m/s)</i>
Janeiro	21,5	27,6	17,1	N/E	3,3
Fevereiro	22,4	28,8	17,6	NE/E	3,4
Março	22,4	29,0	17,4	W/NE	3,2
Abril	20,5	27,0	15,5	NE/E	3,1
Mai	20,4	27,0	15,1	NE/E	3,1
Junho	18,2	25,4	13,1	W/E	3,2
Julho	17,9	25,4	12,8	W/E	2,5
Agosto	19,0	26,6	13,5	E/N	3,2
Setembro	19,9	27,3	14,6	E/N	3,6
Outubro	21,3	28,4	16,2	E/NE	3,3
Novembro	21,6	28,1	16,9	E/NE	3,2
Dezembro	21,6	27,5	16,9	E/NE	3,4
Valores do ano	20,6	27,3	15,6	E/NE	3,2

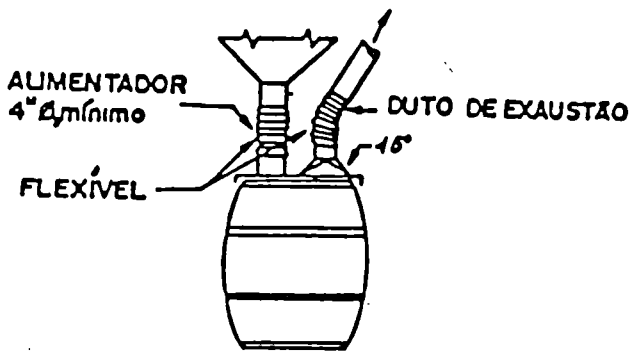
Fonte: Instituto de Meteorologia - 5ª Distrito de Meteorologia de Minas Gerais



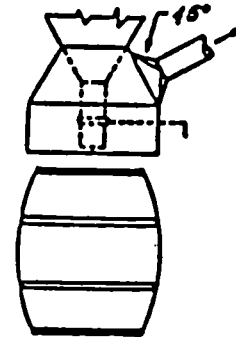
$Q = 100 \text{ pés}^3/\text{min. por pé}^2 \text{ de topo do barril (min.)}$
 $Vd = 3500 \text{ mínima}$
 $\Delta P_E = 0,25 \text{ VP} + 1,78 \text{ VPS}$
 Carga manual



$Q = 150 \text{ pés}^3/\text{min. por pé}^2 \text{ de área aberta}$
 $Vd = 3500 \text{ pés/min. mínima}$
 $\Delta P_E = 0,25 \text{ VP para } 45^\circ$

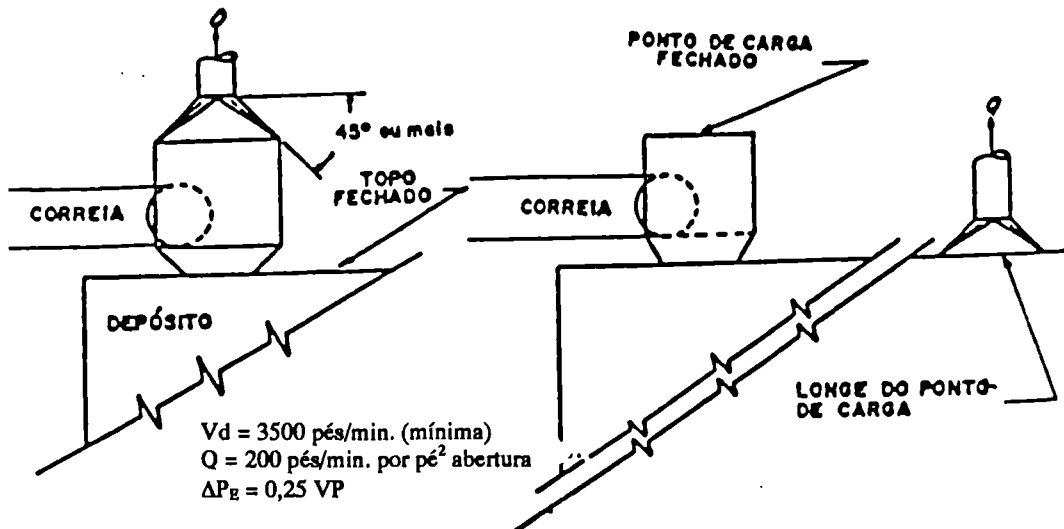


$Q = 50 \text{ pés}^3/\text{min.} \times \text{Ø do tonel (pés)} - \text{tampa pesada}$
 $Q = 150 \text{ pés}^3/\text{min.} \times \text{Ø do tonel (pés)} - \text{tampa leve}$
 $Vd = 3500 \text{ pés/min. (mínima)}$
 $\Delta P_E = 0,25 \text{ VP}$



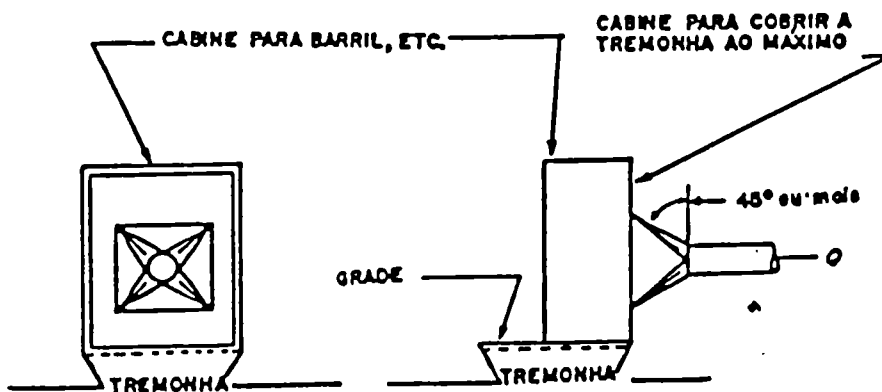
$Q = 300-400 \text{ pés}^3/\text{min.}$
 $Vd = 3500 \text{ pés/min. mínima}$
 $\Delta P_E = 0,25 \text{ VP}$

<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>	
ENCHIMENTO DE BARRIS	
Data: 1-64	VS-303



Velocidade (correia)	Vazão
< 200 pés/min.	500 pés³/min./pé de correia (largura) e não menos que 200 pés³/min./pé² de abertura
> 200 pés/min.	350 pés³/min./pé de correia (largura) e não menos que 150 pés³/min./pé² de abertura

Carga mecânica

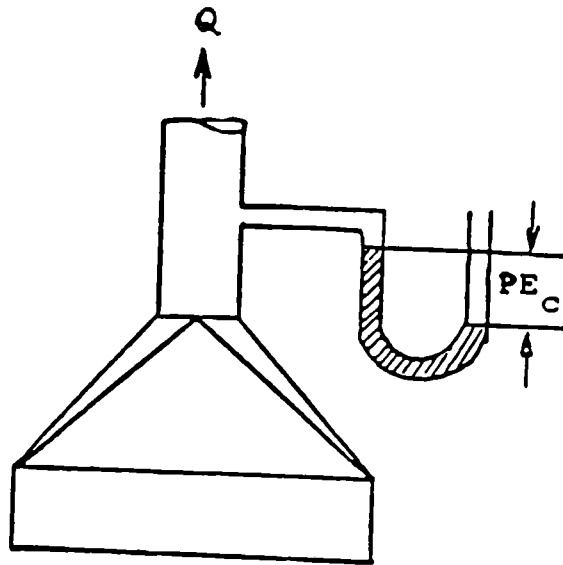


Vd = 3500 pés/min. (mínima)
 Q = 150 pés³/min. por pé² de face
 ΔPₑ = 0,25 VP

Carga manual

<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>	
DEPÓSITO E TREMONHA	
Data: 1-64	VS-304

EXERCÍCIO 7



DADOS

- Pressão estática do captor $Pe_c = -0,69'' \text{ CA} = 17,5 \text{ mm CA}$
- Diâmetro do duto $D = 12'' = 1 \text{ pé} = 0,305 \text{ m}$
- Coeficiente de entrada $C_e = 0,894$
- Ar padrão

RESOLUÇÃO

1. Vazão de exaustão (Q)

Para o ar padrão:

$$Q = 4,043 \cdot C_e \cdot A_d \sqrt{Pe_c}$$

onde:

$$A_d = \frac{3,14}{4} D^2$$

portanto,

$$A_d = 0,073 \text{ m}^2 \text{ e } Q = 4,043 \cdot 0,894 \cdot 0,073 \cdot \sqrt{17,5} = 1,104 \text{ m}^3/\text{s} = 3974 \text{ m}^3/\text{hora}$$

2. Velocidade no duto (v_d)

$$v_d = \frac{Q}{A_d} = \frac{(1,104 \text{ m}^3/\text{s})}{(0,073 \text{ m}^2)} = 15,1 \text{ m/s}$$

$$v_d = 15,1 \text{ m/s}$$

3. Fator de perda de carga do captor (K_c)

Sendo:

$$K_c = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2}$$

tem-se:

$$K_c = \frac{(1 - 0,894^2)}{(0,894^2)} = 0,25$$

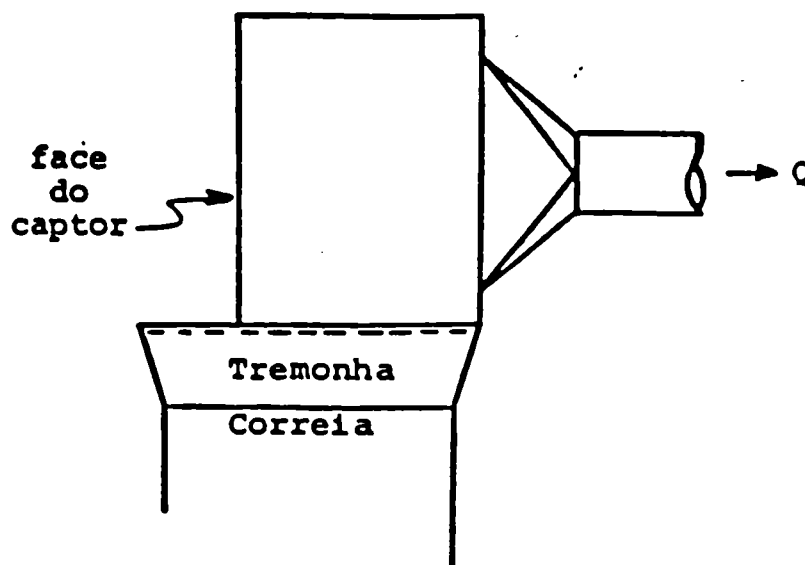
Nota:

$$P_c = \left\{ \left(\frac{v_d}{4,043} \right)^2 \right\} = \left\{ \left(\frac{15,1}{4,043} \right)^2 \right\} = 13,95 \text{ mmCA (para ar padrão)}$$

$$K_c = 0,25$$

EXERCÍCIO 8

Esquema:



Dados:

- **Captor:** face aberta: 1 m x 1,5 m
- **Correia:** velocidade: 1 m/s
largura: 0,6 m/s
- **Velocidade do ar no duto:** 18 m/s (3542 fpm)

Solução:

1. Vazão de exaustão (Q)

Recomendação do *Industrial Ventilation*

$$Q = 150 \text{ cfm/pé}^2 \text{ de face}$$

$$Q = 150 \times 0,02832/1 \times 0,0929$$

$$Q = 45,73 \text{ (m}^3\text{/min)/m}^2 \text{ de face}$$

Área da face aberta do captor

$$A_f = (1 \times 1,5) \text{ m}^2$$

$$A_f = 1,5 \text{ m}^2$$

portanto:

$$Q = 45,73 \times 1,5$$

$$Q = 68,60 \text{ m}^3\text{/min}$$

Perda de carga na entrada do captor (ΔP_c)

Industrial Ventilation [$\Delta P_c = 0,25 P_{C_d}$ (Coifa)]

Mas

$$V = 4,043 \sqrt{P_{C_d}}$$

$$P_{C_d} = \left(\frac{V}{4,043} \right)^2 = \left(\frac{18}{4,043} \right)^2$$

$$P_{C_d} = 19,82 \text{ mmCA}$$

Pressão estática do captor (P_{e_c})

$$P_{e_c} = - (\Delta P_e + P_{C_d})$$

$$P_{e_c} = - (4,96 + 19,82)$$

$$P_{e_c} = - 24,78 \text{ mmCA}$$

VERIFICAÇÃO (TESTE) DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

1. Parâmetros a verificar:

- Velocidade de captura ou na face aberta do captor
- Pressão estática do captor
- Pressão cinética nos tramos e no duto principal
- Pressão estática na entrada e saída do ECP (perda de carga)
- Pressões estática e total na entrada e na saída do ventilador
- Rotação do ventilador
- Emissão na chaminé

2. Avaliação visual, olfativa e auditiva:

- Emissão de poluentes:
 - Captadores
 - Portas de inspeção
 - Equipamento de controle
 - Chaminé
 - Instrumentos instalados (T, P, ΔP)
 - Odor
 - Ruído
- Materiais utilizados, acabamento, etc.

3. Avaliação com instrumentos

3.1. Metodologia aprovada:

- **Método L9.221 (NBR 10701/89):** Determinação do ponto de amostragem em duto ou chaminé de fontes estacionárias
- **Método L9.222 (NBR 11966/89):** Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da velocidade e vazão dos gases
- **Método L9.223 (NBR 10702/89):** Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de massa molecular seca e do excesso de ar do fluxo gasoso

- **Método L9.224 (NBR 11967/89):** Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da umidade dos efluentes

3.2. *Escolha da instrumentação adequada:*

- Definido pela metodologia aprovada
- Características:
 - Dimensões, peso, etc.
 - Qualidades: exatidão, precisão, reproducibilidade, tempo de resposta, sensibilidade.

3.3. *Calibração dos equipamentos (aferição com padrão)*

- **Método E16.030:** Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Calibração dos equipamentos utilizados na amostragem de efluentes.

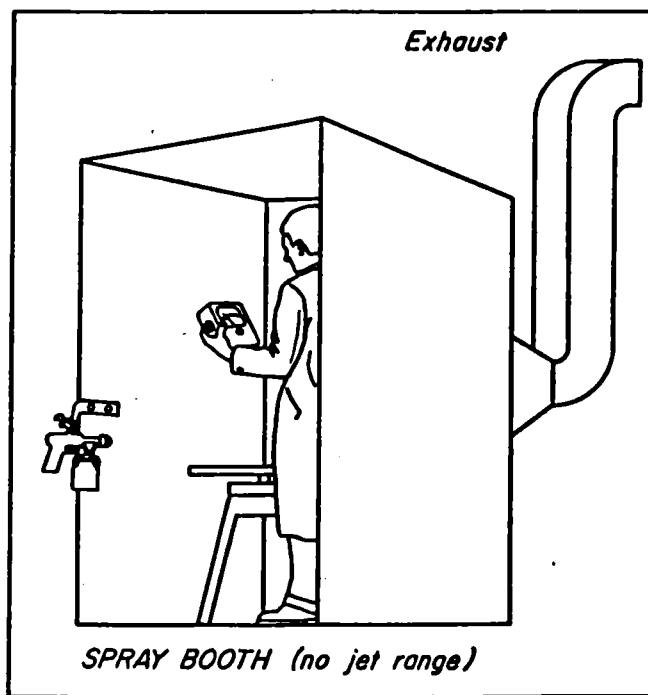
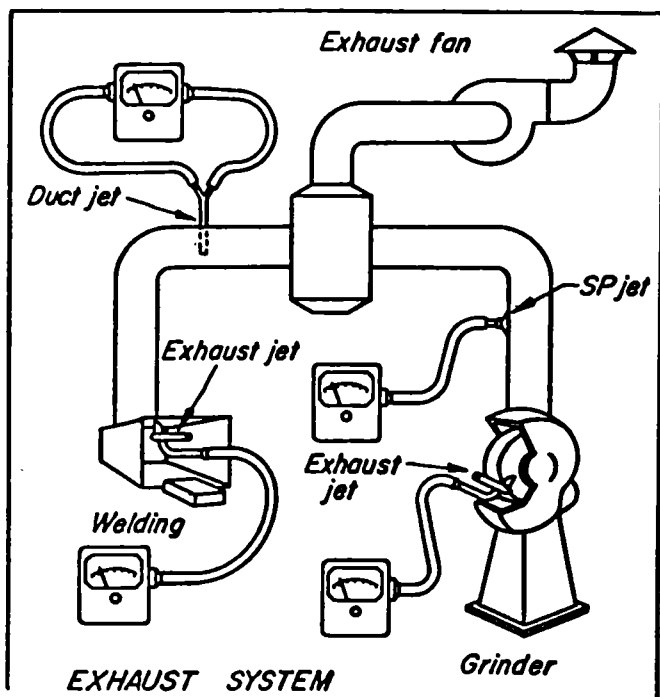
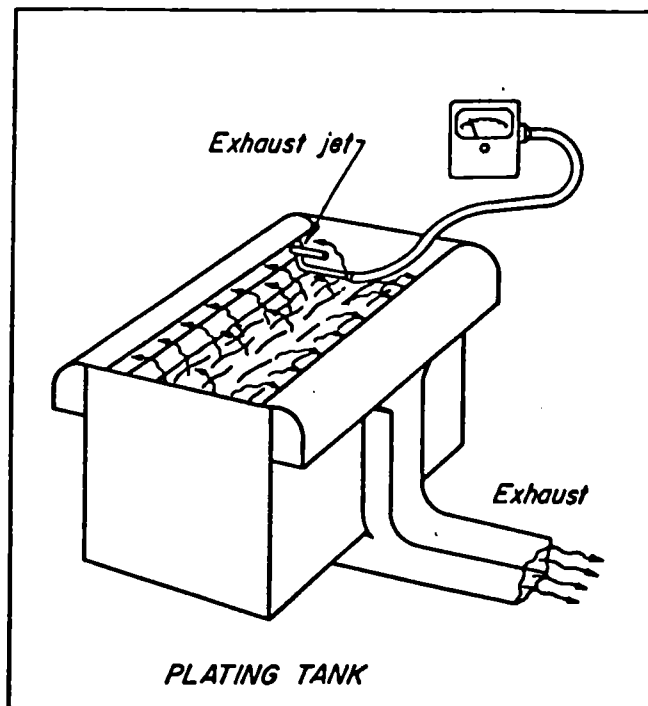
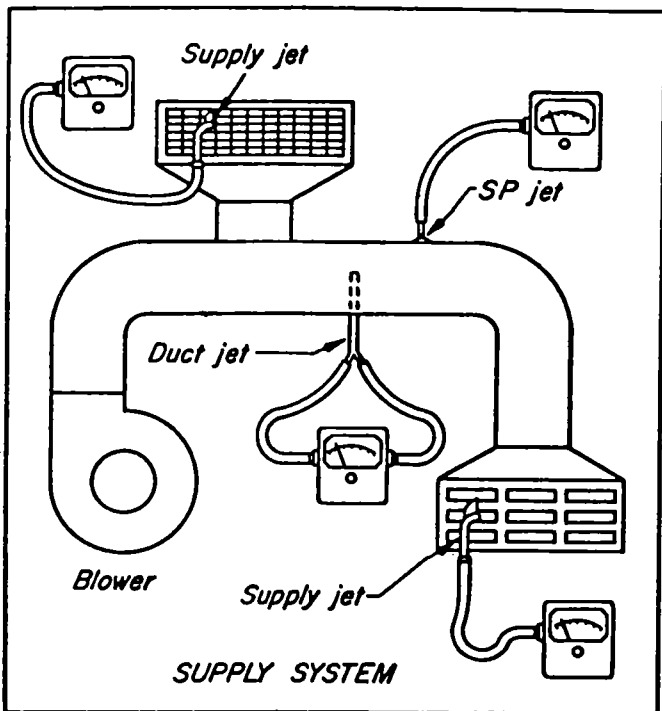
3.4. *Medição em campo*

3.5. *Análise e interpretação dos dados*

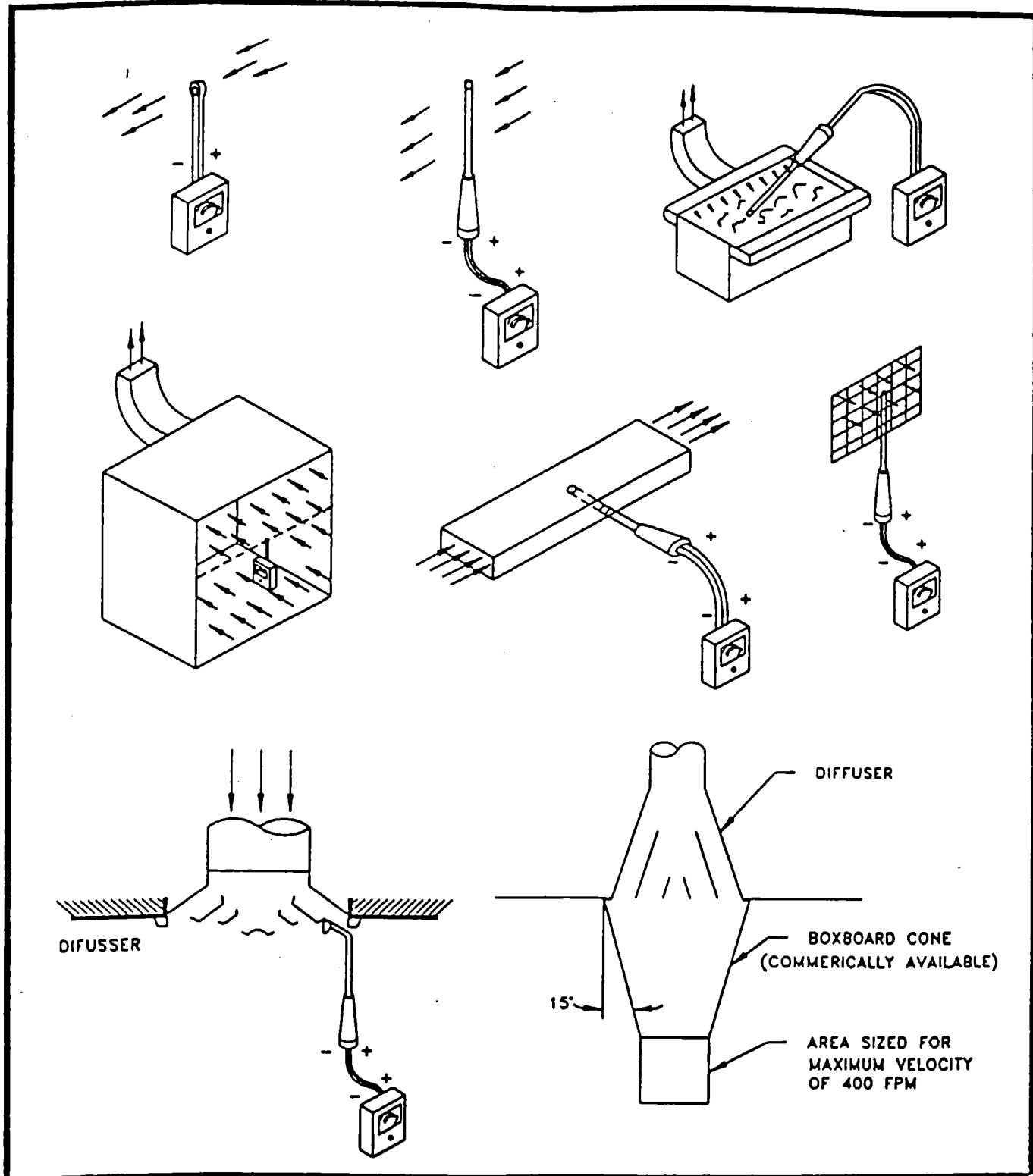
3.6. *Relatório*

4. *Instrumentação usual:*

- Tubo Pitot (tipo "S" e "Standard")
- Manômetro em U
- Manômetro inclinado
- Velômetro Alnor
- Termoanemômetro
- Anemômetro rotatório
- Tubo de fumaça
- Tacômetro
- Trem de amostrador de chaminés



Testes de sistemas de ventilação - aplicações do velômetro



<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>	
SERIES 6000 VELOMETER APPLICATIONS	
Data: 1-88	Figure 9-11

DETERMINAÇÃO DE VELOCIDADE E VAZÃO EM DUTOS - EXEMPLO

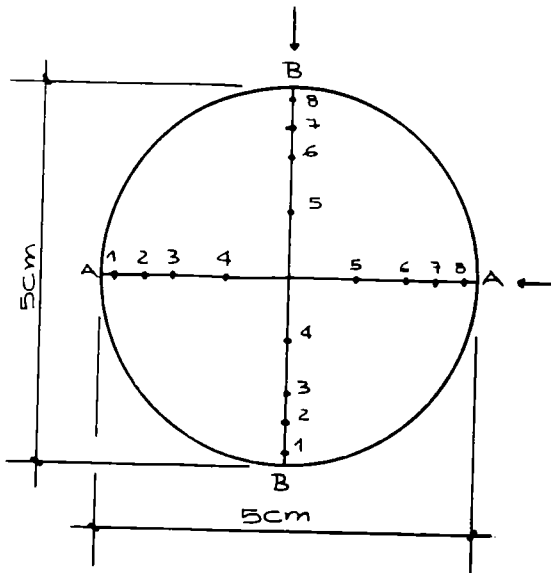
- Normas utilizadas:
 - Norma Técnica L9.221 - CETESB
 - Norma Técnica L9.222 - CETESB
- Dados de campo:
 - Duto reto de sistema de controle de poluição do ar
 - Local: Osasco
 - Condições de temperatura do fluido: 40°C
 - Diâmetro interno do duto: 750 mm
 - Localização:
 - 6D após singularidade anterior
 - 2D antes da singularidade posterior
- Pressão barométrica local
- Unidade do gás, considerado ar: 12,5% em volume
- Determinação do número de pontos (Norma L9.221) da Figura 3:
 - B = 6D → 16 pontos
 - A = 2D → 12 pontos

Distribuição dos pontos na secção (Norma L9.221) - 8 pontos do diâmetro

Ponto	% do diâmetro	Distância da parede do duto
1	3,2	24 mm
2	10,5	78,8
3	19,4	145,5
4	32,3	242,3
5	67,7	507,8
6	80,6	604,5
7	89,5	671,3
8	96,8	726,0

- Dados da

medição e cálculo de $(\Delta P)_m$



utilizando Pitot S com $C_p = 0,84$

Ponto	ΔP (mm H ₂ O)	Pe (mm H ₂ O)	$\sqrt{\Delta P}$ mm H ₂ O
1A	0,40	- 51	0,632
2A	0,44	- 51	0,663
3A	0,46	- 51	0,678
4A	0,48	- 51	0,693
5A	0,50	- 51	0,707
6A	0,50	- 51	0,707
7A	0,42	- 51	0,648
8A	0,33	- 51	0,574
1B	0,31	- 51	0,557
2B	0,36	- 51	0,600
3B	0,44	- 51	0,663
4B	0,47	- 51	0,686
5B	0,52	- 51	0,721
6B	0,50	- 51	0,707
7B	0,45	- 51	0,671
8B	0,35	- 51	0,592
$\Sigma \sqrt{\Delta P} =$			10,499
$(\sqrt{\Delta P})_m =$			0,656 mmH ₂ O

- Cálculo da velocidade média na secção
- Segundo a Norma L9.222

$$V = K_1 C_p (\sqrt{\Delta P})_m \sqrt{\frac{T}{P \cdot MMu}}$$

sendo:

V = velocidade média do gás (m/s)

K_1 = constante do tubo Pitot S. No sistema métrico, tem-se:

$$K_1 = 34,97 \text{ m/s} \left[\frac{\left(\frac{\text{g}}{\text{gmol}} \right) \cdot (\text{mmHg})}{(\text{K}) (\text{mm H}_2\text{O})} \right]^{0,5}$$

$(\sqrt{\Delta P})_m$ = média das raízes quadradas de ΔP (pressão cinética)

T = temperatura absoluta do gás no duto (K)

P = pressão absoluta do gás no duto (mmHg)

Observação: $P = P_{atm} + P_e$

MMu = Massa molecular do fluido (g/gmol)

Observação: $MMu = MM_s (1 - Bag) + 18 Bag$

sendo:

MMs = massa molecular seca (g/gmol)

Bag = umidade no fluido (proporção em volume)

C_p = coeficiente do tubo Pitot S, adimensional

Observação: C_p é obtido na calibração frente ao tubo Pitot STD, considerado como padrão

Aplicando neste exemplo, tem-se:

$$V = 34,97 \cdot 0,84 \cdot 0,656 \cdot \sqrt{\frac{40 + 273}{\rho \cdot MMu}} \text{ para } C_p = 0,84$$

$$P = P_{atm} + P_e = 696 \text{ mmHg} - \frac{51}{13,6} \text{ mmHg} = 692,3 \text{ mmHg}$$

$$MMu = MM_s (1 - Bag) + 18 Bag = 28,84 (1 - 0,125) + 18 \cdot 0,125$$

$$MMu = 27,5 \text{ g/gmol}$$

portanto,

$$V = 34,97 \cdot 0,84 \cdot 0,656 \cdot \sqrt{\frac{40 + 273}{692,3 \cdot 27,5}} = 2,47 \text{ m/s}$$

$$V = 2,47 \text{ m/s}$$

- Cálculo da vazão

Fórmula da norma CETESB L9.222

$$Q_s = \frac{3600 (1 - Bag) V A T_p P}{T_{pp}}$$

sendo:

Q_s = vazão volumétrica do gás seco, na condição padrão (m^3/h)

A = área da secção transversal do duto (m^2)

T_p = temperatura absoluta padrão = 293 K

P_p = pressão absoluta padrão = 760 mmHg

Para o nosso exemplo, interessa-nos a vazão do gás nas condições reais. Assim, a vazão volumétrica naquela secção será:

$$Q_{\text{real}} = V \cdot A = 2,47 \text{ m/s} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,75)^2 = 1,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{real}} = 1,09 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 \text{ s/h} = 3924 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{real}} = 3924 \text{ m}^3/\text{h}$$

166

Data: 4/2/97
 Indic. Memo 350/96
 DDDT de 4/12/94
 Livraria:
 Preço:
 Data: 4/2/97

FILTRO MANGA

Velocidades de filtração recomendadas para vários tipos de material particulado e métodos de limpeza das mangas

Material particulado	Velocidade de filtração (m/min.)		
	Limpeza por agitação mecânica	Limpeza por jato pulsante	Limpeza por colapso das mangas com ar reverso
Açúcar	0,61 - 0,76	2,13 - 3,05	-
Alumina	0,76 - 0,91	2,44 - 3,05	-
Amido	0,91 - 1,07	2,44 - 2,74	-
Arcia	0,76 - 0,91	3,05 - 3,66	-
Argila	0,76 - 0,98	2,74 - 3,05	0,46 - 0,61
Asbestos	0,91 - 1,07	3,05 - 3,66	-
Bauxita	0,76 - 0,98	2,44 - 3,05	-
Cacau, chocolate	0,85 - 0,98	3,66 - 4,57	-
Cal	0,76 - 0,91	3,05 - 3,66	0,49 - 0,61
Calcário	0,82 - 1,00	2,44 - 3,05	-
Carvão	0,75 - 0,91	3,44 - 3,05	-
Cimento	0,61 - 0,91	2,44 - 3,05	0,37 - 0,46
Cosméticos	0,46 - 0,61	3,05 - 3,66	-
Detergentes sabão	0,61 - 0,76	1,52 - 1,83	0,37 - 0,46
Farinha	0,91 - 1,07	3,66 - 4,57	-
Feldspato	0,67 - 0,85	2,74 - 3,05	-
Fertilizantes	0,91 - 1,07	2,44 - 2,74	0,58 - 0,61
Fritas	0,76 - 0,91	2,74 - 3,05	0,46 - 0,61
Gesso	0,61 - 0,76	3,05 - 3,66	0,58 - 0,61
Grafite	0,61 - 0,76	1,52 - 1,83	0,46 - 0,61
Mica	0,82 - 1,00	2,74 - 3,35	0,58 - 0,61
Minério de ferro	0,91 - 1,07	3,35 - 3,66	-
Negro de fumo	0,46 - 0,61	1,52 - 1,83	0,34 - 0,46
Óxido de chumbo	0,61 - 0,76	1,83 - 2,44	0,46 - 0,58
Óxido de ferro	0,76 - 0,91	2,13 - 2,44	0,46 - 0,61
Óxido de zinco	0,61 - 0,76	1,52 - 1,83	0,46 - 0,58
Papel	1,07 - 1,22	3,05 - 3,66	-
Pigmentos para tinta	0,76 - 0,91	2,13 - 2,44	0,61 - 0,67
Plásticos	0,76 - 0,91	2,13 - 2,74	-
Pó de couro	1,07 - 1,22	3,66 - 4,57	-
Pó de pedra	0,91 - 1,07	2,74 - 3,05	-
Pó de serra (madeira)	1,07 - 1,22	3,66 - 4,57	-
Quartzo	0,85 - 0,98	2,74 - 3,35	-
Sílica	0,70 - 0,85	2,13 - 2,74	0,37 - 0,46
Sulfato de ferro	0,61 - 0,75	1,83 - 2,44	0,466 - 0,61
Tabaco	1,07 - 1,22	3,96 - 4,57	-
Talco	0,76 - 0,91	3,05 - 3,66	-

Fonte: James P. Tomany - Air pollution: the emissions, the regulations and the control - 1975.