



STAR  
P/ Arquivo

GUIA INDUSTRIAL  
FUNDIÇÃO DE FERRO

DIVISÃO DE NORMAS E PADRÕES - AR  
GERÊNCIA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS - SUEC/DISA

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA  
AV. PROF. FREDERICO HERMANN JR., 345 CEP 06489 - PINHEIROS  
SÃO PAULO - BRASIL

ARQUIVO TECNICO

8300  
C338g(RCET)  
023023



14200

023023

CETESB/outubro/77

B300  
C338g (RCET)  
023023

CLASS.	
AU	
TO	23023

[Faint, illegible text on lined paper, possibly bleed-through from the reverse side]

III.1. PROCESSO DE FUSÃO .....	III. 1
III.1.1. FUSÃO EM FORNOS CUBILÔ .....	III. 1
III.1.2. FUSÃO EM FORNO ELÉTRICO A ARCO .....	III. 4
III.1.3. FUSÃO EM FORNO ELÉTRICO DE INDU ÇÃO .....	III. 7
III.1.4. FUSÃO EM FORNO REVERBERO .....	III. 7
III.2. MOLDAGEM .....	III. 7
III.3. MACHARIA .....	III. 8
III.4. VAZAMENTO .....	III. 9
III.5. DESMOLDAGEM .....	III.10
III.6. RECONDICIONAMENTO DA AREIA .....	III.10
III.7. LIMPEZA E ACABAMENTO .....	III.10
III.8. SISTEMA DE TRATAMENTO TÉRMICO .....	III.11
III.9. INOCULAÇÃO .....	III.11
 IV - CONTROLE DOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS .....	 IV. 1
IV.1. FUSÃO .....	IV. 1
IV.1.1. FORNO CUBILÔ .....	IV. 1
IV.1.2. FORNO ELÉTRICO A ARCO .....	IV. 3
IV.1.3. FORNO ELÉTRICO DE INDUÇÃO .....	IV. 5
IV.1.4. FORNO REVERBERO .....	IV. 5
IV.2. PREPARAÇÃO E MANUSEIO DA AREIA .....	IV. 5
IV.3. CONFECÇÃO DO MACHO .....	IV. 6
IV.4. VAZAMENTO, RESFRIAMENTO E DESMOLDAGEM ...	IV. 6
IV.5. LIMPEZA E ACABAMENTO .....	IV. 7
IV.6. INOCULAÇÃO .....	IV. 7
 ANEXO I - FORNOS INDUSTRIAIS	
1. FORNO CUBILÔ .....	1
2. FORNOS ELÉTRICOS .....	4
2.1. FORNOS ELÉTRICOS A ARCO .....	4

ÍNDICE

	<u>Pag.</u>
I - ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE FERRO .....	I. 1
I.1. EVOLUÇÃO .....	I. 1
I.2. INSUMOS BÁSICOS .....	I. 2
I.3. PRODUÇÃO .....	I. 3
I.4. CONSUMO E COMERCIALIZAÇÃO .....	I. 5
I.5. PERSPECTIVAS DO SETOR .....	I. 7
II - O PROCESSO .....	II. 1
II.1. PROCESSO DE FUSÃO .....	II. 2
II.1.1. FORNO CUBILÔ .....	II. 2
II.1.1.1 Principais Variáveis de Operação .....	II. 3
II.1.1.2 Operação do Forno .....	II. 4
II.1.1.3 Matérias Primas .....	II. 5
II.1.2. FORNO ELÉTRICO A ARCO .....	II. 7
II.1.2.1 Carga .....	II. 8
II.1.2.2 Fusão .....	II. 8
II.1.2.3 Vazamento .....	II. 9
II.2. MOLDAGEM .....	II. 9
II.3. MACHARIA .....	II.10
II.4. VAZAMENTO .....	II.11
II.5. DESMOLDAGEM .....	II.12
II.6. RECONDICIONAMENTO DA AREIA .....	II.12
II.7. LIMPEZA E ACABAMENTO .....	II.13
II.8. SISTEMA DE TRATAMENTO TÉRMICO .....	II.13
II.9. INOCULAÇÃO .....	II.14
III - CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA PELAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE FERRO .....	III. 1

2.2. FORNOS ELÉTRICOS DE INDUÇÃO ...	5
3. FORNOS REVERBEROS .....	5
4. FORNO CADINHO .....	7
4.1. FORNOS BASCULANTES .....	7
4.2. FORNO ENTERRADO .....	8
4.3. FORNO ESTACIONÁRIO .....	8
ANEXO II - EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUENTES	
1. COLETORES CENTRÍFUGOS SECOS .....	1
2. LAVADORES .....	2
3. FILTROS DE TECIDO .....	5
4. PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS .....	7
5. SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE.	16
ANEXO III - CUSTOS DE CONTROLE	
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE PARTI CULADOS .....	1
3. CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE.	3
4. CUSTO ANUALIZADO .....	8
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	13

## BIBLIOGRAFIA

LISTA DE TABELAS

I - Matérias Primas por Processo de Fusão .....	I.2
II - Evolução da Produção .....	I.3
III - Estrutura da Produção de Ferro .....	I.4
IV - Participação dos Processos de Produção .....	I.5
V - Evolução da Demanda .....	I.6
VI - Demanda Interna Projetada .....	I.7
VII - Evolução da Demanda/Tipo de Ferro .....	I.8
VIII - Evolução da Produção/Processos de Fusão ....	I.9
IX - Características do Efluente - Forno Cubilô .	III.3
X - Características do Efluente - Forno Elétrico a Arco .....	III.6
XI - Modificações nas Práticas de Fusão em Forno Cubilô .....	IV.3

ANEXO II

I - Eficiências de Captação de Equipamentos de Controle para Tamanhos de Partículas Diver sas .....	18
II - Características Fisico - Químicas de alguns Tecidos .....	19

ANEXO III

I - Prazos de Projetos, Fabricação e Instalação de Sistemas de Controle .....	14
II - Índices de Nacionalização .....	14

LISTA DE FIGURAS

1. Fluxograma Básico de Fundição de Ferro ..... II.1

ANEXO I

1. Forno Cubilô ..... 3

ANEXO II

1. Ciclone de Entrada Tangencial ..... 11  
 2. Lavador Venturi com Eliminador de Gotas ..... 12  
 3. Torre de Spray ..... 13  
 4. Torre de Recheio ..... 13  
 5. Filtro de Mangas ..... 14  
 6. Precipitador Eletrostático ..... 15

GRÁFICOS

1. Distribuição Regional da Produção ..... I.4  
 2. Distribuição Regional do Consumo ..... I.6  
 3. Emissão de Particulado Versus Taxa de Sopro pa  
 ra Cubilô com Revestimento Ácido ..... III.5  
 4. Efeito da Taxa de Sopro e Taxa de Coque nas Emis  
 sões de Particulado em Cubilô sem Revestimento. III.5

ANEXO III

1. Variação do Custo de Aquisição - Ciclone ..... 5  
 2. Variação do Custo de Aquisição - Lavador ..... 6  
 3. Variação do Custo de Aquisição - Filtro de Teci  
 do ..... 7  
 4. Variação do Custo Anualizado - Ciclone ..... 10  
 5. Variação do Custo Anualizado - Lavador ..... 11  
 6. Variação do Custo Anualizado . Filtro de Tecido ..... 12

I - ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE  
FUNDIÇÃO DE FERRO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

I - ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE FERRO

I.1 EVOLUÇÃO

Os produtos de ferro, devido às suas propriedades físicas específicas e de sua produção a preços mais vantajosos em relação a outros metais, encontra ampla e crescente utilização em vários setores industriais.

O consumo de fundidos de ferro, se destina principalmente aos setores de transporte, maquinário leve e pesado, equipamentos agrícolas e de construção civil.

A utilização do ferro remonta 1.000 AC, sendo o processo inicial de produção bem rudimentar, obtido diretamente do minério (hematita e magnetita), mediante a ação da queima do carvão vegetal, em pequenos cadinhos de argila, obtendo-se de 10 a 15 kg por vez.

Por volta de 1.500 DC, foram desenvolvidos os primeiros estudos sobre a utilização do carvão mineral (hulha) como redutor de minério de ferro.

Neste período, a Espanha tem um desenvolvimento acentuado no "artezanato metalúrgico", com seus fornos de produzir ferro do tipo Catalão, obtendo rendimento satisfatório.

Em 1587, a primeira fábrica de ferro no Brasil vem a se utilizar deste forno. Instalou-se em São Paulo, na Região de Santo Amaro, aproveitando as condições existentes, como minério de ferro, carvão vegetal e rios navegáveis que possibilitavam o escoamento da produção aos mercados consumidores.

Em termos modernos, a primeira indústria surgiu em 1902 em São Paulo, com um forno Cubilô de 300 mm de diâmetro, com produção aproximada de 350 kg/hora de ferro fundido.

## I.2 INSUMOS BÁSICOS

As principais matérias primas envolvidas no processo de fusão de ferro variam em tipo e quantidade, de acordo com o processo utilizado.

As mais utilizadas são o gusa, o coque e a sucata de ferro, sendo o coque utilizado apenas pelo processo Cubilô.

Devido à sua qualidade inferior, o carvão nacional é utilizado em menor quantidade do que o importado. Na parcela da carga do forno, constituída de carvão, normalmente a proporção adotada é de 25% de carvão nacional para 75% de importado.

As pesquisas de exploração no território nacional, ainda não permitiram a utilização de um carvão de melhor qualidade, porém, até o presente, a ausência do carvão coqueificável não foi um fator limitativo das atividades metalúrgicas, favorecidas pela existência de grandes reservas de outros recursos tais como, ferro, manganês e todo o tipo de refratários.

A tabela a seguir mostra a "carga média" por processo de fusão de ferro, com base em pesquisa direta em indústrias de fundição efetuada para 1974.

TABELA I - Matérias primas por processo de fusão

MATÉRIAS PRIMAS	FORNOS DE FUSÃO (kg/T de metal líquido)		
	CUBILÔ	ARCO	INDUÇÃO
Gusa	417	399	604
Sucata de aço	191	142	170
Sucata de ferro	440	491	262
Coque	138	-	-
Fe Si 45	9,70	7,94	1,66
Fe Si 75	4,25	3,47	2,81
Fe Mn	3,83	3,13	2,09
Fe Si Mn	0,09	0,07	0,96
Fe Cr	1,02	0,83	0,91
Fe Ni	0,18	0,15	0,10
Fe Mo	0,01	0,01	0,24
Outras ferros ligas	1,19	0,97	0,62

Fonte: Tecnometal

### I.3 PRODUÇÃO

A produção brasileira de fundidos de ferro tem apresentado uma evolução constante, nas últimas décadas, apoiando-se numa demanda também crescente, baseada na indústria mecânica, sobretudo na automobilística.

Em 1930 o parque produtor era composto de 54 indústrias, com uma produção de 1900 T, em 1975 a produção registrava 1205500 T.

O crescimento acelerado da produção de ferro, de 1963 a 1975, (tabela II), da ordem de 215%, deveu-se em grande parte ao comportamento da indústria automobilística, no mesmo período apresentando aumentos significativos de consumo.

TABELA II - Evolução da produção (T/ano de fundidos de ferro).

PERÍODO	UNIVERSO ESTIMADO DA PRODUÇÃO
1963	383 250
1964	381 110
1965	386 450
1966	453 580
1967	450 940
1968	541 120
1969	597 740
1970	605 180
1971	683 940
1972	772 280
1973	894 070
1974	1 041 780
1975(est)	1 205 500

Fonte: Tecnometal

Além do crescimento registrado na produção, outro fator deve ser ressaltado, o do aumento da produtividade, de 45,2% (T/ano/operário) de 1971 a 1974.

Em 1975, a estrutura da produção de ferro fundido, apresentava a predominância das indústrias de menor porte (com menos de 100 T/mês), representando 85% do total, porém a parcela da produção devida às 7 empresas de maior porte foi estimada em 39,8% do volume produzido.

TABELA III - Estrutura da produção de ferro.

NÍVEL DE CAPACIDADE DE PRODUÇÃO (C)	Nº DE EMPRESAS	T/ANO
$\geq 5000$ T/mês	7	616 000
$2000 \leq C < 5000$ T/mês	5	175 250
$1000 \leq C < 2000$ T/mês	15	233 180
$500 \leq C < 1000$ T/mês	22	164 410
$250 \leq C < 500$ T/mês	17	67 240
$100 \leq C < 250$ T/mês	9	19 200
$C < 100$ T/mês	425(+)	233 550
<b>TOTAL</b>	<b>500</b>	<b>1 548 830</b>

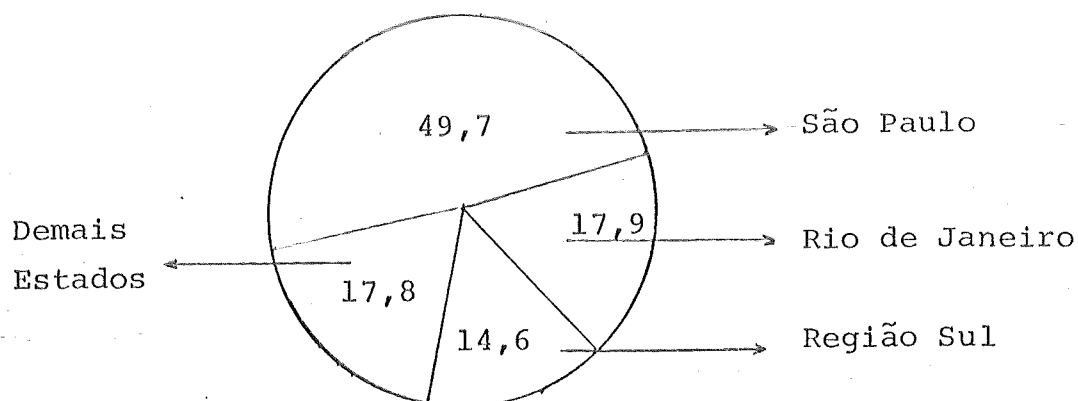
(+) estimativa

Fonte: Tecnometal

Os tipos de ferros produzidos em 1975 foram: cinzento 950.920 T representando 78,8% do total produzido, maleável 51.710 T, correspondendo a 4,4% e nodular 202.870 T, 16,8%.

Quanto aos aspectos regionais, a produção apresentada em 1974, destacava o Estado de São Paulo como o principal centro produtor, participando com 49,7% do volume produzido, como demonstra o gráfico a seguir:

GRÁFICO 1 - Distribuição regional da produção (%).



Apesar de possuir a maior parte da produção, esta é insuficiente para suprir a demanda de São Paulo, sendo necessária a importação de fundidos de ferro de outros estados, na maior parte do Rio de Janeiro.

A tabela a seguir, mostra a evolução da produção de ferro líquido por processo de fusão, determinada por amostragem nas empresas do setor, notando-se a grande participação do processo cubilô.

TABELA IV - Participação dos processos de produção.

ANOS	PRODUÇÃO (10 <sup>3</sup> T/ANO)		FORNOS DE FUSÃO (%)			
	de Peças	Metal Líquido	Cubilô	Arco	Indução	Outros
1972	641,1	959,4	59,72	13,62	17,64	9,02
1973	742,2	1135,7	55,02	16,03	19,29	9,66
1974	862,2	1325,5	53,70	17,41	20,47	8,42
1975(est)	986,9	1541,2	52,67	19,48	19,54	8,31

Fonte: Tecnometal

Pelos valores acima, verifica-se uma tendência à substituição dos fornos cubilô por fornos elétricos, principalmente à arco.

#### I.4 CONSUMO E COMERCIALIZAÇÃO

Basicamente, a produção de ferro é voltada para o mercado interno, sob a forma de peças fundidas, sendo a parcela mais significativa da demanda as peças de transporte, cerca de 32% em 1974, representando não apenas o consumo do setor automobilístico, mas também o ferroviário e o naval.

A demanda apresentou crescimento significativo no período de 1964 a 1974, registrando um aumento global de 179%, como pode ser observado na tabela IV.

TABELA V - Evolução da demanda

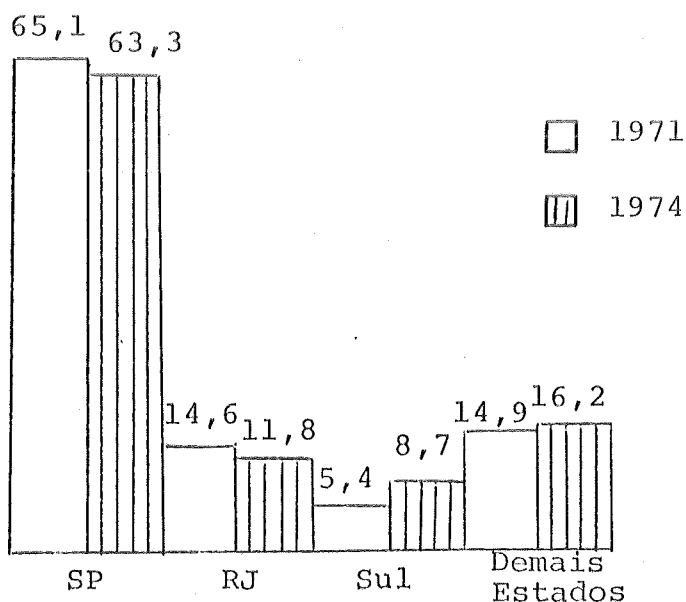
PRODUÇÃO	DEMANDA DE FUNDIDOS DE FERRO (10 <sup>3</sup> T/ano de peças acabadas)
1964	373
1965	382
1966	449
1967	442
1968	539
1969	595
1970	603
1971	679
1972	772
1973	894
1974	1040

Fonte: Tecnometal

A distribuição do consumo de ferro, segundo às regiões, destaca o Estado de São Paulo, que absorveu 659.500 T de fundidos em 1974, correspondendo a 63,3% da demanda total.

Uma região que vem apresentando aumentos significativos de consumo é a Região Sul, justificada pela expansão do setor agrícola e rodoviário nos últimos anos.

GRÁFICO 2 - Distribuição regional do consumo (%).



CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
 BIBLIOTECA

O comércio externo de peças fundidas , não tem sido relevante, em relação ao volume produzido e/ ou consumido no país. Segundo pesquisas junto a produtores e consumidores o ano de 1974 apresentou um comportamento diferente dos anteriores, sendo o volume exportado de 19214 T de ferro fundido, representando cerca de 1,84% do total produzido.

O volume de importação foi um pouco maior, registrando no período 17.000 T de peças importadas e 7.045 T em cilindros de laminação.

### I.5 PERSPECTIVAS DO SETOR

Segundo estudos divulgados pelos órgãos responsáveis pelo planejamento deste setor, foi previsto um aumento global na demanda de ferro de 1975 a 1985 de 198%.

A premissa básica para a determinação da demanda futura de fundidos, foi a projeção do comportamento dos setores consumidores até 1980, considerando também a intensificação no processo de substituição de bens de capital e um desenvolvimento mais acentuado da produção de equipamentos ferroviários, indústria naval, de caminhões, ônibus e tratores.

TABELA VI- Demanda interna projetada ( $10^3$  T/ano de peças acabadas).

ANOS	DEMANDA
1975	1163
1976	1300
1977	1473
1978	1668
1979	1832
1980	2012
1981	2240
1982	2498
1983	2785
1984	3105
1985	3462

A capacidade atual de produção mais as ampliações em andamento ou com os recursos já assegurados, garantirão o suprimento da demanda prevista até 1978, porém para 1980 é esperado um deficit global de 173 800 T/ano de ferro fundido.

O estudo salienta que o acelerado desenvolvimento obtido pela indústria automobilística estimulou as expansões das indústrias de fundição, e que, com a retração sentida no setor automobilístico causada pela crise energética, haverá a curto prazo um superdimensionamento de fundições de auto-peças.

As previsões indicam que São Paulo continuará sendo o principal centro consumidor, retendo 57,3% do total produzido, a Região Sul absorverá 10,4%, o Rio de Janeiro 12,2%, e os demais estados 20,1%.

O setor automobilístico, permanecerá até 1980 como o mais representativo dos consumidores de fundidos de ferro, com 27% da demanda em 1980.

A evolução da demanda por tipo de fundidos de ferro pode ser vista na tabela a seguir.

TABELA VII - Evolução da demanda/tipo de ferro.

METAL FUNDIDO (T/ano de peças acabadas)	PRODUÇÃO		
	1978	1980	1985
Ferro Cinzento	1329	1600	2794
Ferro Maleável	77	95	153
Ferro Nodular	262	317	515
TOTAL	1668	2012	3462

Fonte: Tecnometal

Como a participação do forno cubilot nos processos de produção, tem diminuído de 59,72% em 1972 para 52,67% em 1975, as previsões no referido estudo indicam duas alternativas quanto à participação provável dos diversos processos de fusão na produção prevista de ferro líquido:

Alternativa I

Forno cubilô	20%
Forno arco	30%
Forno a indução	20%

Alternativa II

40%
30%
30%

Caso a produção de peças acabadas seja igual à demanda prevista, e que o rendimento médio do processo, peça acabada/metal líquido para ferro fundido seja 0,65, a produção projetada em função do processo adotado será a seguinte:

TABELA VIII - Evolução da produção/processos de fusão  
(10<sup>3</sup>T/ano de ferro líquido)

ALTERNATIVA I					
Ano	Produção de peças (10 <sup>3</sup> T/ano)	Forno Cubilô	Forno a Arco	Forno a Indução	Total
1976	1300,7	1000,5	600,3	400,2	2001,0
1978	1668,5	1283,5	770,0	513,3	2566,8
1980	2012,0	1547,7	928,6	619,1	3095,4
1985	3462,0	2663,4	1597,8	1065,2	5366,1
ALTERNATIVA II					
1976	1300,7	800,4	600,3	600,3	2001,0
1978	1668,5	1026,8	770,0	770,0	2566,8
1980	2012,0	1238,2	928,6	928,6	3095,4
1985	3462,0	2130,5	1507,8	1507,8	5226,1

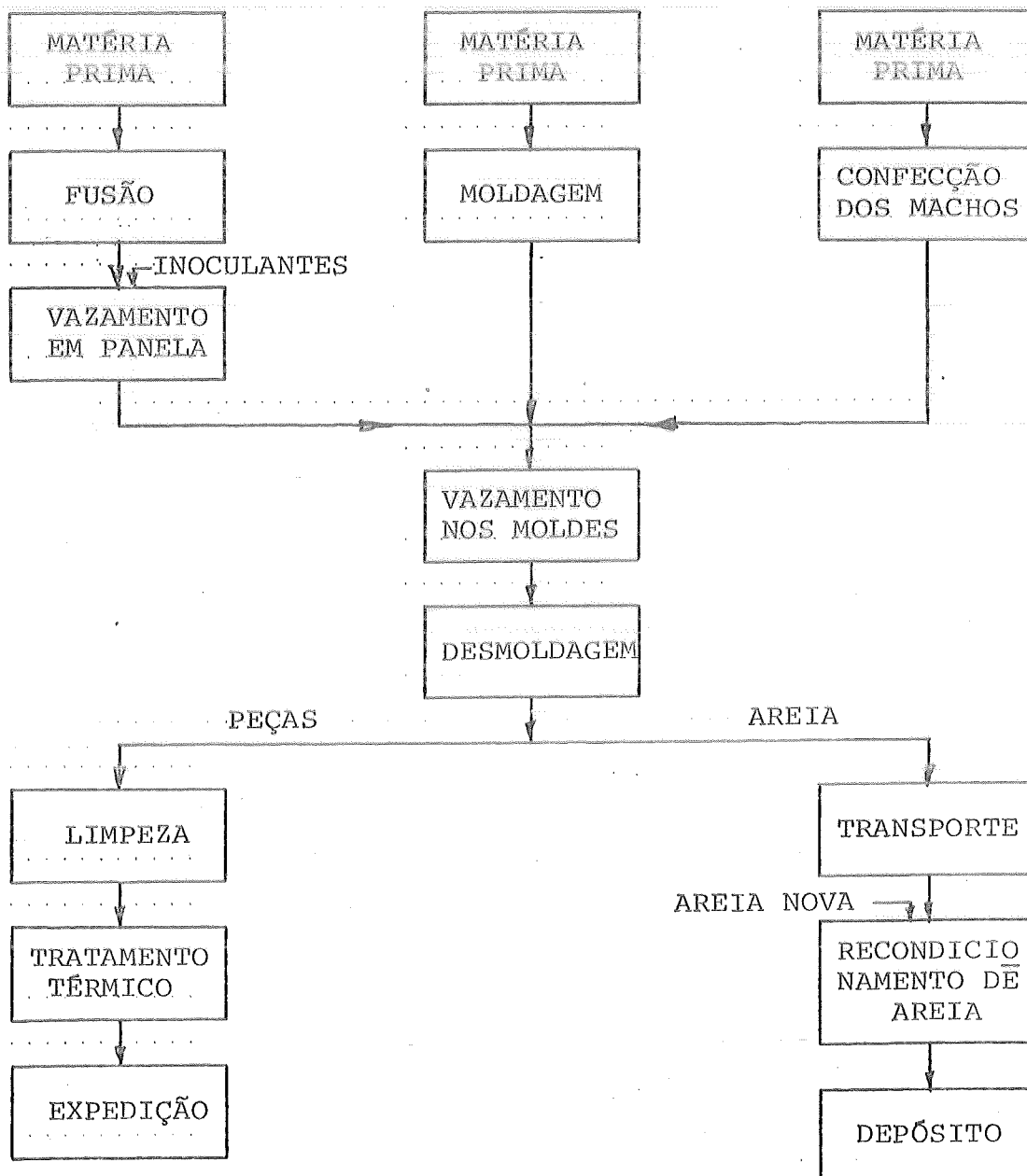
Fonte: . Tecnometal

II - O PROCESSO

## II - O PROCESSO

A produção de peças de ferro por fundição pode ser resumida nas seguintes operações fundamentais: fusão, moldagem, vazamento, desmoldagem e acabamento; sendo também comuns, a inoculação e o tratamento térmico.

Fig. 1 - Fluxograma básico de fundição de ferro.



## II.1 PROCESSO DE FUSÃO

Os fornos utilizados para a fusão do metal são: cubilô, elétrico a arco, elétrico de indução, re-  
vêrbero e outros. (Anexo 1)

### II.1.1. FORNO CUBILÔ

O forno cubilô é um equipamento de fusão onde a carga metálica e o combustível possuem fluxo contrário ao do comburente que é o oxigênio do ar.

As reações que promovem a formação do  $\text{CO}_2$  e do  $\text{CO}$ , são responsáveis pelo fornecimento do calor necessário ao processo de fusão, que é obtido pela combustão de coque.

A queima se processa mais intensamente na zona de oxidação, ocorrendo a reação do silício e do manganês que é acompanhada por uma liberação adicional de calor, super aquecendo o ferro fundido que goteja no cadinho.

No cadinho, em condições normais, os gases estão em equilíbrio com o carbono do coque e consistem quase que exclusivamente de  $\text{CO}$ . Nesta zona o ferro líquido está em contato com o coque incandescente e o carbono pode passar para o ferro (carburação).

Acima da zona de oxidação, está situada a zona de redução, onde o  $\text{CO}_2$  se transforma em  $\text{CO}$ , havendo uma queda de temperatura. É dentro desta zona que, em geral, tem início e término a fusão da carga metálica (zona de fusão).

Na zona de pré-aquecimento (acima da zona de redução até a porta de carga) o  $\text{CO}$  e o  $\text{CO}_2$  permanecem em teores quase inalterados e a temperatura dos gases cai devido a troca de calor com a carga. Ocorre ainda a evaporação da umidade, remoção dos materiais voláteis, aquecimento da carga e a calcinação do calcário.

A capacidade real de fusão (S) é dada por:

$$S = \frac{L}{K \cdot k \cdot 4,44(1+Nc)}$$

Onde:

L — volume de ar insuflado ( $\text{Nm}^3/\text{min}$ )

K — kg de coque para cada 100 kg de ferro

k — teor de carbono no coque (%).

Nc — rendimento da combustão que é dada por:  $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 - \text{CO}} \times 100$  (%)

#### II.1.1.1. Principais Variáveis de Operação

a) Pé de Coque - deve ser tal que a primeira carga metálica esteja situada no limite superior da zona de fusão. Sua altura depende do cubilô empregado e das condições de operação. Para início de operação, quando não se conhece a sua altura correta, pode-se adotar uma altura correspondente a uma vez e meia o diâmetro interno do forno.

b) Coque de Fusão - é a porção de coque adicionada simultaneamente com as cargas metálicas, destinada a repor a parcela do leito de coque consumida. Usualmente é fixada em porcentagem do peso da carga metálica, apesar de depender também das condições de operação do forno. De um modo geral, para um forno cubilô de ar frio, 10 - 12% de coque de fusão são suficientes para se obter boas temperaturas.

Na operação com sucata de aço, ou quando forem necessárias temperaturas mais elevadas, são utilizadas quantidades maiores, podendo atingir até 15-18 %.

Com a finalidade de garantir uma uniformidade de massa do forno cubilô, é conveniente limitar em 200 - 250 mm a espessura da camada interna do coque de fusão.

c) Peso da Carga Metálica - a partir da altura da camada de coque de fusão determina-se o peso do coque necessário. Em seguida, conhecendo-se a relação entre o peso do coque de fusão e o peso da carga metálica, determina-se o peso da carga metálica.

d) Insuflamento de Ar - o ar é insuflado no cubilô com a finalidade de fornecer o oxigênio necessário à combustão do coque. Em geral, o volume de ar a ser consumido por hora, é calculado através da seguinte expressão:

$$Q = 5,7 D_i^2 \cdot K$$

Onde:

Q — volume de ar por hora (Nm<sup>3</sup>/h)

D<sub>i</sub> — diâmetro do cadinho (dm)

K — coque de fusão (%)

O controle da quantidade de ar é feito por meio de medidores de vazão de diafragma através da pressão diferencial.

#### II.1.1.2. Operação do Forno

Antes do carregamento é verificada a altura do pé de coque. Para tal é empregado, normalmente, um vergalhão de aço marcado ou então uma corrente com um peso numa das extremidades.

Se o pé de coque ultrapassar a altura recomendada, queima-se o excesso, caso contrário adiciona-se coque até completar a carga.

Após a estabilização do pé de coque, é adicionado o calcário correspondente e repetem-se as cargas dentro de uma mesma sequência (geralmente: calcário, coque e materiais metálicos).

Os materiais metálicos da carga são carregados na ordem decrescente do seu ponto de fusão.

Após o carregamento completo do forno

é ligado o ventilador, dando início ao sopro, sem o fechamento dos furos de sangria do ferro fundido e da escória. A operação de fechamento será efetuada quando as primeiras gotas de ferro ou escória começarem a sair pelo furo de sangria do ferro fundido.

Sob condições de trabalho normais, é retirado o primeiro ferro fundido 10 a 15 minutos após o início do gotejamento. A operação de sangria é interrompida no início da saída da escória juntamente com o ferro fundido. O intervalo de tempo entre as sangrias seguintes depende principalmente, da capacidade de fusão do forno, da altura do cadinho e do regime de vazamento adotado.

A temperatura do metal no início da operação é ligeiramente inferior à faixa de temperatura normalmente atingida, que é da ordem de 1450° - 1530 °C, para as condições de fusão ótimas. Este fato pode ser considerado normal, já que é necessário estabelecer-se um equilíbrio térmico dentro do cadinho, que é conseguido após 2 a 3 sangrias.

A obtenção de uma boa escória implica na determinação da quantidade ótima de calcário para cada forno.

#### II.1.1.3. Matérias Primas

a) a boa operação do cubilô é função da qualidade do coque que interfere na temperatura do ferro fundido, na carburação e no teor de enxôfre da liga fundida. Por outro lado, a qualidade do coque depende principalmente do processo de fabricação, do tamanho da câmara e dos tempos e temperaturas usados para a coqueificação. É desejável que o coque de fundição seja de difícil combustão, de tamanho grande (80 - 120 mm) e de baixa reatividade. Além disso, deve ter baixos teores de cinzas, enxôfre, matérias voláteis e altos teores de carbono fixo.

b) Calcário - o seu emprego no forno cubilô tem por finalidade abaixar a temperatura de fusão da escória primária, formada pela escorificação da cinza do coque, partículas de refratário, óxidos e areia de retorno.

Características de um bom calcário de fundição:

- pureza - 90 a 95% de  $\text{CaCO}_3$
- sílica - 2% (no máximo)
- enxôfre - 0,3% (no máximo)
- tamanho - 30 a 40 mm
- finos - 5% (no máximo)
- deve ser compacto e duro

Em face ao grande número de variáveis que influem sobre a formação da escória, é praticamente impossível calcular-se a quantidade necessária de calcário para um dado forno. Na prática, para um forno cubilô ácido a quantidade de calcário é de 20 - 30% sobre o coque de fusão com 10% de cinzas sobre a carga metálica.

Acima deste valor a quantidade de calcário aumenta proporcionalmente.

A quantidade de calcário também é influenciada pelo tipo e estado da carga metálica.

c) Gusa - o tipo usado para a produção do ferro fundido está condicionado principalmente ao tipo que se deseja obter. Por exemplo, gusa de baixo teor de enxôfre (0,025% no máximo), geralmente provenientes de altos fornos a carvão vegetal, são empregados quando se deseja elevadas resistências à tração.

Os gusas diferenciam-se, ainda, pelo aspecto físico, os vazados em areia apresentam uma quantidade de impurezas, areia e escória, bem maior que aqueles vazados em máquina. Este fato tem influência sobre a formação e a quantidade da escória, e como tal deve ser levado em conta na especificação da quantidade de fluxo a ser usada. O peso de materiais estranhos no gusa, não deve exceder a 1%.

d) Sucata de Ferro e Aço - o seu uso na carga do cubilô, assim como o tipo de gusa, interfere nas propriedades do ferro fundido produzido. Para as classes de baixa resistência à tração, onde as principais características são boa fundibilidade e boa usinabilidade, o emprego de sucata de aço como elemento de carga fica limitado em torno de 10%. Para as classes de resistência mecânica mais elevada a proporção de sucata pode atingir até 40 - 50%, dependendo do teor de carbono final desejado, e da matéria prima disponível.

No entanto, a fim de se garantir uma constância de análise, o emprego de sucata de aço está limitado em torno de 20% principalmente quando não se dispõe de equipamentos adicionais para uniformizar a temperatura e composição química.

e) Ferro-Ligas - o seu emprego na produção de ferros fundidos cinzentos, tem as seguintes finalidades:

- corrigir os teores de certos elementos na carga metálica.
- adicionar ao ferro fundido determinado elemento que não conste nos materiais de carga.
- inocular a liga fundida com o objetivo de aumentar seu potencial de grafitização.

As principais ferro-ligas empregadas para a produção de ferro fundido cinzento, são as ligas de ferro-silício e ferro-manganês, que podem ser fornecidas com diversos teores de silício e manganês. Estas ligas podem ser adicionadas tanto na carga metálica como no antecadinho ou na panela de vazamento.

#### II.1.2. FORNO ELÉTRICO A ARCO

O forno elétrico proporciona um método de fusão mais eficiente para a obtenção de ferros fundidos de qualidade. Uma de suas características mais notáveis

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANAMENTO AMBIENTAL  
 BIBLIOTECA

veis é a possibilidade de produzir qualquer tipo de ferro dentro das composições químicas desejadas.

Do ponto de vista energético o forno elétrico não compete com o forno cubilô no que se refere ao custo do ferro líquido na bica. Porém, devemos considerar, que o forno elétrico pode trabalhar com cargas mais baratas, contendo materiais tais como cavacos de torno e com porcentagens elevadas de sucata de aço. Além disso, a produção de ferro fundido de alta qualidade em cubilô, exige que também o coque metalúrgico seja de boa qualidade.

#### II.1.2.1. Carga:

A composição da carga deverá ser a mais próxima daquela especificada para o produto final, isto é, parte-se de matéria prima de boa qualidade e uniformidade na composição química.

Os fornos elétricos com revestimento ácido são recomendados para se obter maior ferridez e por fatores econômicos. O carregamento de canais e refugos (limpos em tamborão) é precedido por lingotes e gusa para proteger o refratário e acelerar a fusão. Esta técnica torna mínima a reparação após cada corrida e muito baixo o consumo de refratário.

#### II.1.2.2. Fusão:

Feito o carregamento, liga-se o forno no "tap I" (voltagem mais elevada), até que uma certa quantidade de metal líquido se forma na soleira e grande parte de sucata caia para a zona mais próxima aos eletrodos.

Termina-se a fusão no "tap II" e processa-se o aquecimento do metal nos "taps" seguintes.

Tão logo o metal esteja fundido analisa-se o metal em laboratório para determinar os teores de carbono e silício.

É no forno que se deve procurar, dentro de um processo simples, fundir e preparar a corrida com a composição química, a mais próxima possível da recomendada, tornando pequenas as adições de correção e as inoculações.

#### II.1.2.3. Vazamento

Para se obter um bom fundido, exige-se controle rigoroso de temperatura.

Para determinados formatos de peça o vazamento é controlado por amostragem em cada panela.

As variações de porcentagens de inoculantes são feitas com o intuito de atender às exigências relacionadas com as características físicas e mecânicas.

Os fornos elétricos a arco, podem ser construídos para trabalhar com cargas líquidas em duplex, visando simples acumulação de metal e manutenção de temperatura ou para a fusão e refino, a partir de carga sólida.

Além desses, são usados outros fornos para a fusão do ferro, tais como revérbero, elétrico de indução e cadinho.

## II.2. MOLDAGEM

Os processos de moldagem mais utilizados são: moldagem em areia verde, em areia seca, em casca e pelo processo  $CO_2$ .

Os moldes em areia verde são geralmente de custo mínimo, e portanto, o mais empregado entre todos os processos. Consiste de uma mistura plástica de areia

silicosa, argila e água, compactada manualmente sobre um modelo com o formato da peça a ser fundida.

Retirado o modelo e colocados os machos, eventualmente necessários, o molde é fechado, calçado, e recebe o metal imediatamente, sem necessidade de secagem.

A moldagem em areia seca processa-se de maneira idêntica à moldagem a verde, exceto a parte final, na qual os moldes são submetidos a secagem em estufas.

Os moldes preparados no chão são secos por meio de secadores portáteis.

As areias recomendadas são em geral do tipo sintético ou semi-sintético, com a adição de aglomerantes orgânicos a fim de aumentar as resistências necessárias.

Na moldagem pelo processo  $CO_2$  a areia usada consiste essencialmente numa mistura de areia lavada e de aglomerante a base de silicato de sódio. Terminado o molde, submete-se ao tratamento com  $CO_2$  para o seu endurecimento em curto espaço de tempo.

Na moldagem em casca utiliza-se mistura de areia aglomerada com resina sintética polimerizável à quente, com a qual são executados os moldes sob a forma de cascas finas. O molde formado, parcialmente curado, vai à estufa para completar a cura.

### II.3. MACHARIA

Macho é toda porção de areia aglomerada que após moldagem se apresenta consistente, quer por secagem ou por consequência do próprio processo de fabricação ( $CO_2$ ).

Esta porção de areia assim obtida poderá ser manipulada com certa facilidade, e em geral é colocada no molde para compor as partes internas da peça. Em muitos casos os machos são empregados para conformar as

partes externas e salientes da peça, que no processo comum de moldagem não poderiam ser produzidas.

Os tipos de machos mais comuns são:

a) Machos à seco: a areia de macho deve apresentar ingredientes combustíveis (serragem, mogul, óleos), ligantes (óleos vegetais, minerais, breus) e materiais com boa resistência a compressão (mogul, açúcar).

b) Machos à verde: peças sujeitas a trincas ou peças cujas características exigem grande economia de fabricação, podem ser feitas utilizando-se machos à verde. A mistura das areias de macho à verde diferem muito pouco das misturas das areias utilizadas para moldagem; apenas procura-se aumentar um pouco mais as porcentagens de serragem ou mogul, materiais que aumentam a colapsibilidade da areia.

c) Processo de CO<sub>2</sub>: este processo baseia-se na propriedade que apresentam os silicatos de sódio, de reagirem com o CO<sub>2</sub>, resultando na formação de carbonatos de sódio, os quais apresentam características aglomerantes, propiciando a formação de machos já endurecidos antes mesmo de sua extração das caixas.

d) Um outro tipo é o dos machos em casca, usando areia silicosa limpa. A resina normalmente em pregada é fenolformaldeído.

#### II.4. VAZAMENTO:

O vazamento poderá ser executado por:

- gravidade em presença de ar.
- gravidade, sendo os moldes submetidos a sucção no fundo do molde.
- processo Meyick, usado para vazarmoldes individuais e em pequenos volumes. O molde aquecido na estufa é fixado na parte superior de um forno a arco.

Gira-se o conjunto todo, abre-se uma válvula de ar, para facilitar o enchimento de todos os detalhes do molde.

#### II.5. DESMOLDAGEM

Os moldes contendo metal solidificado são levados para desmoldagem, separando a areia dos fundidos.

Os desmoldadores podem ser fixos ou móveis.

Os móveis são transportados por ponte (ou monovia) ou montados em rodas que correm sobre trilhos.

Existem ainda desmoldadores munidos de verdadeiras instalações de acondicionamento de areia, equipados com peneira vibratória, quebradores de torrões, separação magnética, etc.

#### II.6. RECONDICIONAMENTO DA AREIA

Antes de depositarmos a areia de desmolde nos silos, procede-se as operações destinadas a restituir à areia desmoldada as características físicas e químicas que permitem a sua utilização no processo de moldagem, sem que ela possa todavia ser usada em substituição à areia nova.

As operações básicas do acondicionamento de areia são as seguintes:

- remoção da areia da área de desmolde.
- retirada de partículas metálicas.
- quebra ou retirada dos torrões e peneiramento.
- resfriamento.
- retirada de finos inertes.
- correção de teor de aglomerantes.
- adição de umidade.

- homogeneização e arejamento.

Segundo o grau de evolução de cada fundição, as operações acima são efetuadas total ou parcialmente.

## II.7. LIMPEZA E ACABAMENTO

A sequência de operações na seção de limpeza e rebarbação é a seguinte:

- limpeza grosseira: remoção de canais e massalotes.
- limpeza de superfície: no interior e exterior do fundido.
- remoção de rebarba, arames e protuberâncias nos locais de canais e massalotes.
- acabamento final.
- inspeção.

A remoção de canais e massalotes é feita por percussão com martelo ou marreta, mas para evitar a quebra de um canal remova metal da própria peça, recorre-se ao uso da pastilha ou um corte com rebolo.

A limpeza da superfície poderá ser feita por tamboramento ou por jato de abrasivo.

Após o corte de canais e dos massalotes e limpeza superficial, eliminam-se as rebarbas por martelletes pneumáticos e esmerilhamento com o objetivo de remover qualquer excesso de metal ainda existente e dar a forma desejada à peça.

## II.8. SISTEMA DE TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico envolve um controle cuidadoso do resfriamento do metal sólido e ligas para obter certas mudanças desejáveis em suas características

físicas. A elevadas temperaturas ocorrem vários fenômenos, tais como: crescimento dos grãos, recristalização e difusão ou migração de átomos no metal sólido ou líquido. Após um tempo suficiente a temperaturas elevadas, o processo ocorrerá até alcançar um equilíbrio, obtendo-se alguma forma estável do metal ou liga.

Em geral, os métodos usados para tratamento térmico são: endurecimento, choque térmico, recozimento, têmpera e normalização.

Os equipamentos usados para tratamento térmico incluem fornos (estufas), geradores de atmosfera ou tanques de resfriamento.

O fluido usado para o resfriamento pode ser água, óleo, sal fundido, ar liquefeito, etc.

## II.9. INOCULAÇÃO

O ferro nodular é obtido adicionando-se magnésio na panela contendo ferro fundido, ou outro metal leve que produza efeitos similares.

A reação que ocorre durante o processo de inoculação é muito violenta e a sua violência varia com a forma e método de introdução do magnésio.

Como o ferro vaporiza a uma temperatura superior a da fusão do magnésio, somente uma pequena porcentagem do total de magnésio adicionado realmente reage durante o processo.

O restante é vaporizado e lançado à atmosfera. O rendimento considerado satisfatório para o processo gira ao redor de 35%.

O magnésio adicionado seguirá três caminhos:

a) reação com qualquer enxôfre presente formando  $MgS$ , que fará parte da escória. Embora o ferro a

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

ser usado para a produção de ferro nodular seja pré-tratado com um material básico tal como  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ou  $\text{CaCO}_3$  para remover o enxôfre; existe normalmente de 0,02% a 0,03% de enxôfre remanescente. Este será eliminado pela inoculação, usando cerca de 0,230 kg de magnésio por tonelada de ferro.

b) uma pequena quantidade se dissolverá no ferro fundido, atingindo cerca de 0,04%. Isto soma cerca de 0,360 kg de magnésio por tonelada de ferro.

c) a quantidade remanescente borbulhará formando  $\text{MgO}$  em contato com o ar. A quantidade de magnésio adicionada variará de 0,1% a 0,3% do ferro tratado, ou seja: 1,0 kg a 3,0 kg de magnésio/Ton de ferro. Subtraindo-se os 0,590 kg consumidos na reação com enxôfre e dissolvidas no ferro, temos 0,410 kg de magnésio/Ton de ferro tratado na forma de fumos de  $\text{MgO}$ . Isto resultará cerca de 1,660 kg a 5 kg de  $\text{MgO}$  gerados por tonelada de ferro.

III - CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA PELAS INDÚSTRIAS  
DE FUNDIÇÃO DE FERRO

### III - CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA PELAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE FERRO.

Os poluentes descarregados na atmosfera pelas indústrias de fundição de ferro, são constituídos basicamente de material particulado.

#### III.1 PROCESSO DE FUSÃO

O processo de fusão é a maior fonte de poluição do ar numa indústria de fundição.

##### III.1.1. FUSÃO EM FORNO CUBILÔ

É a maior fonte de emissão, de difícil controle, e produz fumos, fumaça, poeira e gases. (Tabela IX).

Esses poluentes são classificados em três categorias: óxidos metálicos, óxidos silicosos e de calcário, e materiais combustíveis.

A quantidade de óxidos metálicos nas emissões está relacionada com a presença dos respectivos metais na sucata e com as pressões parciais do vapor na temperatura da zona de fusão do Cubilô.

Os óxidos de silício e cálcio procedem da erosão de revestimentos, moldes ou machos de areia em retornos de fundição, sujeira aderida à sucata no pátio de estocagem ou proveniente do fluxo de calcário.

Os materiais combustíveis incluem partículas de coque, óleo vaporizado ou parcialmente queimado e outros contaminantes arrastados pelos gases até a chaminé.

As concentrações são afetadas pela qualidade e quantidade dos materiais carregados, uso de técnicas específicas (tais como enriquecimento de oxigênio), taxa de ar de combustão, relação de coque e a temperatura da zona de fusão.

A razão de sopro, quando aumentada, provoca maiores emissões pelo arraste de óxidos metálicos, coque e calcário.

As taxas de emissão são maiores durante a queima, devido em parte às maiores temperaturas, resultando em grandes volumes, velocidade dos gases mais alta, menor capacidade de coleta, da menor altura de queima e maior formação de óxidos metálicos na zona de fusão. Além disso, a altura vertical da zona de redução é muito pequena, com menor potencial para redução dos óxidos já formados.

Acredita-se que as emissões no Cubilô variam diretamente com a porcentagem de coque na carga. Uma degradação do coque durante a pesagem, carregamento ou movimentação na cuba, também levará a um aumento do pó de coque no forno.

Práticas de operação tem notável efeito nos níveis de emissão. O uso de papel ou madeira para a ignição do leito de coque produz fumaça no início do ciclo.

O uso de um queimador apropriadamente projetado e instalado, diminui a quantidade de partículas combustíveis liberadas.

Deve-se fornecer oxigênio suficiente para se obter uma combustão completa e a parte superior da chaminé do forno, deve ser suficientemente alta para dar tempo necessário a esta combustão.

A altura viável da carga pode resultar em taxa de emissão mais alta e a limpeza dos retornos, de fundição e sucata oleosa, resultará em emissões menores.

Verificou-se também uma correlação significativa entre as emissões e taxa de sopro para cubilô com revestimento ácido, expressa pela fórmula:

$$E = 0,05 + 0,07 B$$

TABELA IX - Características do efluente - Forno Cubilô

## 1. Características do Material Particulado

Fator de emissão	Distribuição do tamanho de partícula		Composição Química		Concentração g/Nm <sup>3</sup>	Solubilidade	Molhabilidade
	variação do tamanho (x)	% peso	Química	% peso			
8,5 kg/Ton de metal carga do	0 - 5	10	SiO <sub>2</sub>	20-40	3	CaO — solúvel em H <sub>2</sub> O	Difícil
	5 - 10	12	CaO	3-6			
	10 - 20	3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-4		CaO, SiO <sub>2</sub> e Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - solúvel em HCl	
	20 - 50	10	MgO	1-3			
	50	65	Óxidos de Fe	12-16			
			MnO	1-2			

## 2. Características dos gases

Vazão Nm <sup>3</sup> /h	Temperatura (°C)	Teor de umidade % vol.	Composição Química % vol.	Toxicidade	Corrosividade
2057 x C + 5530			CO <sub>2</sub> = 2,8-12,3	SO <sub>2</sub> - 5	Potencialmente corrosivo devido do SO <sub>2</sub>
C - capacidade de produção (t/h)	99 - 766 °C	Ponto de orvalho 16 °C	O <sub>2</sub> = 11,8-12,7	irritante	
			CO = 0 - 0,1	CO - 100	
			SO <sub>2</sub> = 0,002-0,013		
			Fluoretos podem ser emitidos de pendendo do fluxo		

Fonte.: NTIS (PB - 203 522)

Onde,  $E$  = emissão de particulado lb/Ton de fundido

$B$  = razão de sopro específica SCfm/ft<sup>2</sup> de areia do forno.

Para os cubilôs sem revestimento também existe uma correlação entre as emissões, razão de coque e a taxa de sopro segundo a equação:

$$E = 57 - 6,6 C + 0,1 B$$

Onde,  $C$  = relação metal/coque

As curvas representativas dessas equações estão nos gráficos 3 e 4.

### III.1.2. FUSÃO EM FORNO ELÉTRICO A ARCO

As emissões provenientes da fusão de ferro em forno a arco surgem de duas fontes principais, a queima ou vaporização dos materiais combustíveis que estão nas matérias primas e a queima dos eletrodos, podendo ocorrer também alguma queima da carga metálica durante a fusão. Em ambos os casos, a maior emissão de gases ocorre no início do ciclo de fusão, quando a potência elétrica consumida é mais alta.

Os gases produzidos pela combustão dos eletrodos são conhecidos e calculáveis.

Aproximadamente de 4,5 a 5,5 kg de eletrodo são consumidos por tonelada de ferro fundido, produzindo aproximadamente 13,6 kg de CO e CO<sub>2</sub> mais 68 kg de N<sub>2</sub> proveniente do ar induzido no forno. Adicionalmente, uma quantidade de metálicos, principalmente ferro, é oxidada e emitida como fumos de óxidos.

Existe uma relação entre a rapidez com que a fusão ocorre e a taxa de emissões produzida, indicando que alto consumo de potência para produzir curtos ciclos de fusão, produzirá emissões mais altas.

Gráfico 3 - Emissão de particulado vs taxa de sopro para Cubilô com revestimento ácido

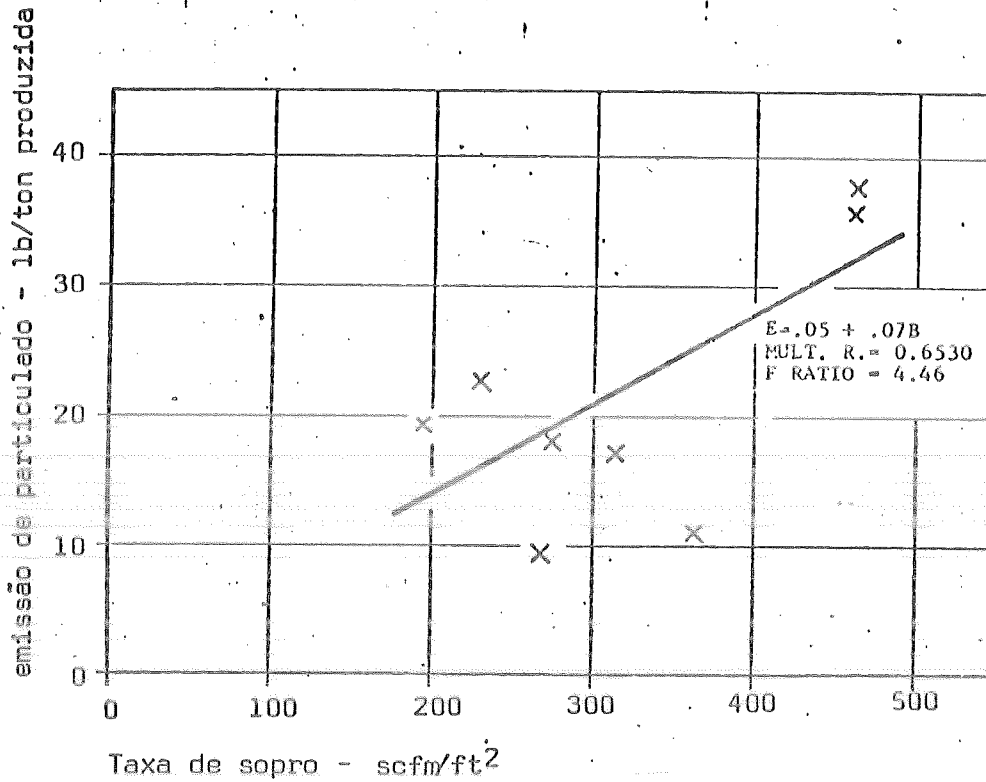


Gráfico 4 - Efeito da taxa de sopro e taxa de coque nas emissões de particulado em Cubilô sem revestimento

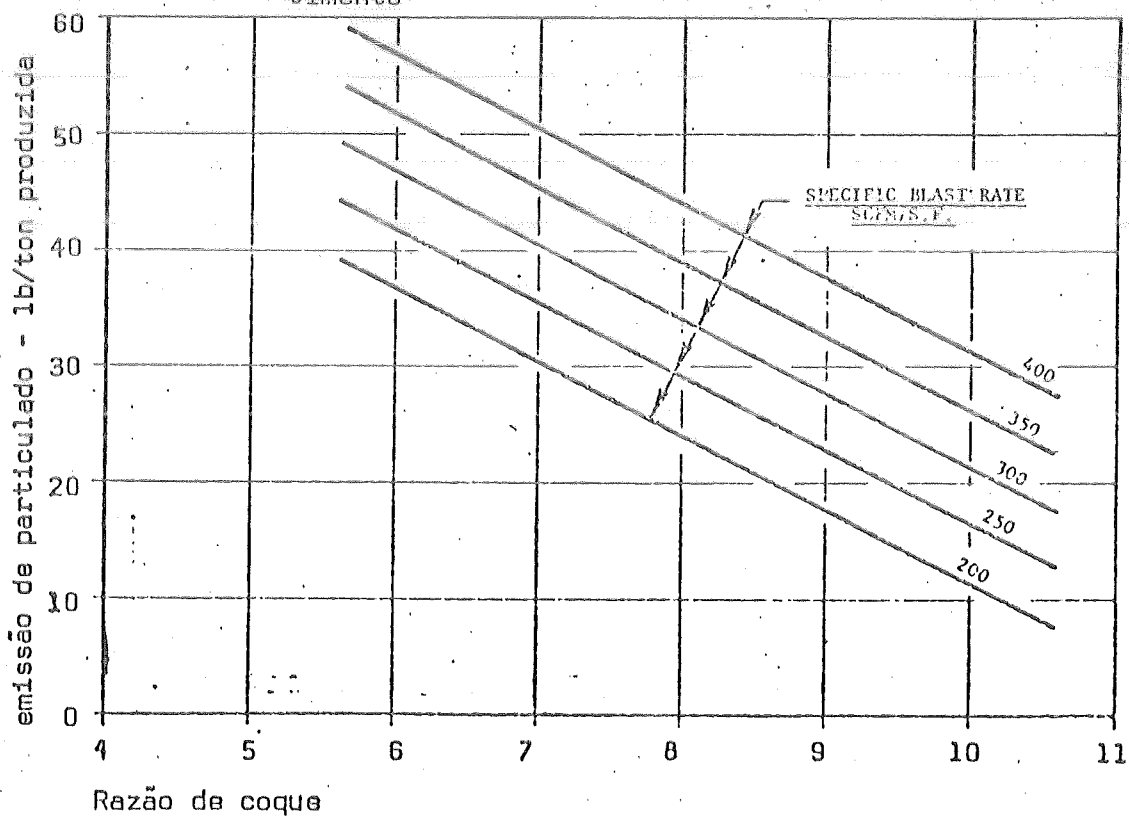


TABELA X - Características do efluente - Forno Elétrico a Arco

Fator de emissão	Distribuição do tamanho de partícula		Composição Química		Concentração g/Nm <sup>3</sup>	Vazão Nm <sup>3</sup> /h
	variação do tamanho (u)	% peso	% peso			
5 kg/Tonelada carregada	0 - 1	13	Oxidos			
	1 - 2	44	Fe	75 - 85	2,5	1098,7C + 16906
	2 - 5	25	Si	10		C - capac.
	5 - 10	8	Mg	0,8		(T/carr.)
	10 - 15	4	Mn	2		
	15 - 20	2	Pb	0,8		
	20 - 50	3	Outros			
	50	1	metais	1,4		

Fonte: NTIS (PB 203 522)

A distribuição do tamanho das partículas e características das emissões encontram-se na tabela nº X.

### III.1.3. FUSÃO EM FORNO ELÉTRICO DE INDUÇÃO

A operação de fusão em fornos de indução emite poluentes em baixas concentrações, consistindo de fumos, fumaça e vapor de óleo. Os dois últimos, geralmente, derivam-se de pequenas quantidades de óleo de corte aderente à sucata.

Os fornos de indução sem núcleo, usados como fornos de espera ou de super-aquecimento, normalmente operam sem controle de suas emissões (fator de emissão = 0,75 kg/T de metal carregado).

### III.1.4. FUSÃO EM FORNO REVÉRBERO

O forno revérbero para processos de fusão ou duplex emite poluentes com concentrações na faixa de 2 - 6 g/Nm<sup>3</sup>. Fumaça, fumos metálicos e cinzas são produzidos neste tipo de forno, sendo que a fumaça resulta da combustão de óleo impregnado na sucata e de outros materiais combustíveis na carga; os fumos metálicos aparecem no efluente como resultado de contaminantes não ferrosos na carga do material, vaporizados juntamente com uma parte da sucata de ferro. As concentrações estão relacionadas com as pressões parciais dos óxidos na temperatura de fusão e encontram-se na faixa de 0,49 a 12,35 g/Nm<sup>3</sup>.

O fator de emissão para esses fornos é 1,0 kg/T de metal carregado.

### III.2. MOLDAGEM

Na moldagem de areia verde, a umidade na areia atua como um eliminador de material particulado

com concentrações baixas, aproximadamente  $2 \text{ g/Nm}^3$ , e as partículas são geralmente maiores do que 20 u.

Os aglomerantes e aditivos usados para melhorar a resistência dos moldes contêm quantidades de materiais combustíveis formando gases que se expandem durante o vazamento e resfriamento dos moldes.

### III.3. MACHARIA

As emissões resultantes da confecção do macho são geralmente na forma de fumos e gases. A quantidade emitida depende da natureza da mistura e o seu processo de confecção.

As emissões de material particulado são geralmente baixas, inferiores a  $2 \text{ g/Nm}^3$ , com partículas na faixa de 2 - 20 u. Os aglomerantes do macho geram consideráveis volumes de gases durante o vazamento.

As emissões provenientes da cura do macho dependem do tempo de cozimento, observando-se que o teor de gás é reduzido rapidamente pelo cozimento em temperaturas mais altas.

Aglomerantes resinosos, normalmente usados, nos processos de confecção de macho em casca, causam vários riscos, pois a decomposição dos produtos é extremamente tóxica. A dermatite é o principal efeito causado por um excesso de fenol livre, formaldeído, hexametileno tetramina ou álcool.

O risco depende do agente específico e do seu nível de tolerância. O fenol, por exemplo, pode causar a dermatite e danos aos organismos expostos a níveis superiores a 5 ppm. O formaldeído é nocivo em níveis superiores a 5 ppm. Outros materiais tóxicos e irritantes incluem: álcool furfurílico, álcool etílico, álcool metílico, monóxido de carbono e pó de sílica.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

A relação areia - óleo influi no volume de gás gerado durante o vazamento e, verificou-se também uma interdependência entre a relação areia e os demais aglomerantes.

#### III.4. VAZAMENTO

As emissões da operação de vazamento são maiores do que as da moldagem e normalmente mais difíceis de controlar. O metal quente, quando vazado dentro do molde inflama-se e à medida que o oxigênio é exaurido vaporiza os componentes da areia tais como: aglomerantes do molde e do macho.

A maioria das emissões é vapor de água e fumaça com menor porcentagem de material particulado.

No processo de vazamento com moldes contendo aglomerantes sintéticos, as concentrações de substâncias tóxicas, tais como cloreto de hidrogênio e metil cloreto, devem ser baixas a fim de prevenir reações fisiológicas nos operadores.

A concentração de fumaça, fumos e vapores está relacionada com a temperatura do metal quente, tempo entre o vazamento e a desmoldagem e quantidade de aglomerantes.

O vazamento do metal fundido vaporiza os materiais voláteis e a água presente nos moldes que são lançados à atmosfera através de suas aberturas. Os teores de gases combustíveis são relativamente altos, consistindo de 4% para moldes secos até 76% para moldes com uma alta porcentagem de cereal e bentonita. O hidrogênio nos gases surge da decomposição do vapor de água e o CO da combustão de materiais orgânicos.

As altas temperaturas de vazamento muitas vezes resultam na queima do gás quando abandona os moldes. Esta combustão retardada diminui os riscos de explosões e a toxicidade dos gases emitidos, particular

mente se o molde contém óleo dos machos.

A concentração do material particulado emitido é superior a  $7,4 \text{ g/Nm}^3$  e o tamanho predominante dessas partículas encontra-se na faixa de 2 a 20  $\mu$ .

### III.5. DESMOLDAGEM

Na desmoldagem, as peças fundidas quentes em contato com a umidade e resfriador de areia emitirã fumaça, vapor de água e vapores do mesmo tipo que os emitidos na operação de vazamento. A concentração das emissões é momentaneamente alta, acima de  $6 \text{ g/Nm}^3$  e 50% das partículas encontram-se na faixa de 2 a 15  $\mu$ .

### III.6. RECONDICIONAMENTO DA AREIA

No acondicionamento da areia emite-se material particulado, sendo que, sua concentração depende do método de manuseio. Em sistemas fechados, tais como transportadores pneumáticos, as emissões são bem menores que nos locais onde a carga e a transferência da areia aos silos é feita manualmente.

A emissão devida ao manuseio da areia usada é maior do que da areia fresca, por ter sido parcialmente seca pelo contato com o metal quente.

No misturador de areia são emitidas baixas concentrações de material particulado na faixa de 2 a  $6 \text{ g/Nm}^3$  (50% das partículas encontram-se na faixa de 2 a 15  $\mu$ ). Essas concentrações são substancialmente umentadas se o misturador for equipado com um sistema de resfriamento por sopro de ar.

### III.7. LIMPEZA E ACABAMENTO

As operações de limpeza e rebarbação produzem emissões menos problemáticas que outros processos

da fundição. As emissões são geralmente maiores porém mais fáceis de se controlar. As concentrações dos poluentes podem exceder  $6 \text{ g/Nm}^3$  (partículas na faixa de 5 a  $7\mu$ ), dependendo do tipo e velocidade do rebolo e da pressão exercida pelo esmeril.

A operação de limpeza com jato de abrasivo produz altas concentrações de partículas metálicas e pó de areia, que são uma função da quantidade de areia impregnada nas peças fundidas e da duração do jateamento.

O jateamento de areia produz altas concentrações de pó de areia relacionadas com a pressão do ar e tempo requerido para a limpeza.

### III.8. SISTEMA DE TRATAMENTO TÉRMICO

As emissões provenientes dos fornos de tratamento térmico são muito baixas exceto quando as peças fundidas tenham sofrido resfriamento brusco com óleo (tempera à óleo). A concentração de fumaça resultante é uma função da temperatura e da quantidade de óleo residual na superfície da peça fundida.

### III.9 INOCULAÇÃO

As emissões do processo de inoculação constituem-se principalmente de  $\text{MgO}$ , atingindo 60 - 80% do total, dependendo da forma em que o magnésio foi introduzido e da violência da reação; em seguida encontram-se os óxidos de ferro, como o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que ocupam o segundo lugar em importância.

Nas reações mais violentas, particularmente quando são usadas ligas de silício-magnésio, haverá também, emissões de partículas de  $\text{SiO}_2$ .

As concentrações dessas emissões são elevadas, superiores a  $7,4 \text{ g/Nm}^3$ .

IV - CONTROLE DOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

## IV - CONTROLE DOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Os equipamentos de controle citados a baixo visam principalmente o controle de material particulado. (Anexo 2).

### IV.1 FUSÃO

#### IV.1.1. FORNO CUBILÔ

Os equipamentos de controle mais utilizados no processo de fusão em forno cubilô são: "wet cap", coletores centrífugos secos, coletores úmidos, filtros de tecido e precipitadores eletrostáticos.

"Wet cap" - requerem baixa energia e a eficiência de captação é alta para partículas maiores do que 44 u. Estes sistemas são mais práticos onde haja água a baixo custo e possibilidade de disposição de lama. Além disso, alguns tipos de "wet cap" são empregados em conjunto com um coletor úmido. A baixa eficiência tem causado o declínio de seu uso.

Coletores centrífugos secos - é um equipamento de baixa energia projetado para partículas maiores em concentrações baixas ou moderadas. Este sistema necessita a cobertura do cubilô e instalação de um "spray" de resfriamento para reduzir a temperatura dos gases de exaustão. Frequentemente eles são usados como pré-coletores devido à sua baixa eficiência de coleta.

Coletores úmidos - são geralmente usados quando umidade e/ou alta temperatura estão presentes nas emissões. Uma instalação completa requer tubulação, ventilador e cobertura do forno. Esses sistemas são mais práticos onde houver água a baixo custo e disponibilidade de equipamento para disposição da lama.

Filtros de tecido - quando é requerido uma eficiência de coleta muito alta, o filtro de tecido é

TABELA XI - MODIFICAÇÕES NAS PRÁTICAS DE FUSÃO EM FORNO CUBILÔ

MODIFICAÇÃO	EFEITO DA MODIFICAÇÃO	DECRÉSCIMO NAS EMISSÕES
	Decréscimo no volume dos gases da chaminé*	
1. Decréscimo na área da porta de descarga e uso de alimentador vibratório ou calha	Decréscimo da infiltração de ar até 85% Decréscimo do volume do efluente a ser tratado, até 60%	Nenhum
2. Promover exaustão abaixo do topo da carga	Decréscimo total do efluente a ser tratado, até 74%	Nenhum
3. Promover exaustão na porta de carga	Decréscimo total do volume gasoso, 45%	Nenhum
	Decréscimo da carga de coque	
4. Sopros quente	Reduz o coque requerido para aquecimento do sopro de ar, usando combustível gasoso	Moderada - estimada em 4% para razão de fusão constante
5. Enriquecimento de oxigênio	Adição de oxigênio no sopro de ar para aumentar o teor de oxigênio no sopro de 21% para 25%, permitindo a redução de coque	Moderada - estimada na faixa de 5% a 10% para razão de fusão constante
Preparação e carga de materiais		
6. Peneira para coque e calcário	Remove os finos de coque e calcário da carga	Depende do estado de degradação do coque e calcário. A faixa estimada de decréscimos é de 5% a 20%, consistindo principalmente de partículas > 44 µ
7. Limpeza dos retornos de fundição com jatos de abrasivos	Remove a areia do molde e do macho impregnada na sucata	Depende da quantidade de areia de retorno. O decréscimo das emissões é estimado na faixa de 2 a 8%
8. Incineração ou lavagem com detergente dos blocos de motor ou sucata de automóveis	Remove o óleo, graxa e outros combustíveis	Depende da quantidade de combustível na sucata. Decréscimo estimado na faixa de 2 a 2,5%
9. Remoção de contaminantes não ferrosos	Reduz a emissão de óxidos metálicos não ferrosos	Depende da quantidade de não ferrosos na sucata. Decréscimo estimado na faixa de 1 - 2%

\* Embora não afete diretamente as emissões, o decréscimo do volume de gases a ser tratado, resultará em redução dos custos de controle.

selecionado. Embora vários tipos de tecido estejam disponíveis, a fibra de vidro é o mais indicado devido à resistência a altas temperaturas. Uma instalação completa inclui numerosos componentes tais como: chicana, aumento da saída do forno e cobertura, tubulação, ventilador, resfriador de "spray", além do filtro propriamente dito. Outro tipo de instalação envolve o uso de trocador de calor no lugar de resfriadores com "spray".

Precipitadores eletrostáticos - são raramente aplicados em cubilô tendo em vista seu alto custo e problemas de manutenção e operação.

Pós-queimadores - são empregados para queimar os gases do topo do forno, reduzindo a opacidade provocada pelas partículas, também a descarga de CO e para eliminar perigo de explosão dos gases.

Pré-aquecedores - a complementação da queima de produtos combustíveis parcialmente queimados pode ser realizada em um pré-aquecedor. Não só a eficiência térmica do cubilô é melhorada, mas também o pré-aquecimento age como uma câmara de sedimentação para captar partículas grosseiras.

Além dos controles mencionados pode-se reduzir as emissões com modificações no processo de fusão, como as encontradas na tabela XI.

#### IV.1.2. FORNO ELÉTRICO A ARCO

Os equipamentos de controle mais utilizados nos processos de fusão em fornos elétricos a arco são: coletores úmidos, filtros de tecido e precipitadores eletrostáticos.

Coletores úmidos - não é muito frequente sua utilização devido à existência de partículas muito finas e a necessidade de lavadores de alta energia.

Filtros de tecido - são os mais adequados para fornos elétricos a arco devido à granulometria extremamente fina do material particulado emitido. Uma instalação completa deste equipamento inclui tubulação, ventilador e captadores, e sistema de resfriamento de gases.

Precipitadores eletrostáticos - o seu uso requer controle de temperatura e umidade dos gases de exaustão, isto pode ser obtido por um sistema de "spray" de água ou pós-queimador para aquecer e umidificar os gases antes de entrarem no precipitador.

Tipos de coifas - os fornos elétricos a arco são equipados com vários tipos de coifas para a captação dos poluentes.

O arranjo dos eletrodos e o mecanismo acima do forno, bem como o método de carga e operação de terminam o tipo de coifa a ser usada.

Os tipos usualmente empregados são:

- Coifa de Cobertura (Full Roof Hood): este tipo de coifa é preso ao anel superior, do forno. Ela requer reforço para não ceder a altas temperaturas e proteção para prevenir curto circuito nos eletrodos.

- Coifa Lateral (Side Draft Hood): esta unidade está localizada no lado da tampa, próximo aos eletrodos para se fazer o controle tipo lateral. Uma coifa superior é usada na porta de carga com esse tipo de controle.

- Coifa Canopy: localizada acima da vigia de rolamento do guindaste, usualmente oferece pouca interferência à operação do forno. A efetividade desta coifa é limitada tendo em vista a movimentação de grandes volumes de ar infiltrado.

- Quarto Furo: neste sistema uma sonda é conectada diretamente à tampa do forno, mantendo-se uma exaustão cuidadosamente controlada.

- Sonda (Snorkel): é similar ao anterior, exceto que o furo extra serve como abertura de alívio da pressão natural do forno.

#### IV.1.3. FORNO ELÉTRICO DE INDUÇÃO

Nesse tipo de forno não ocorre nenhuma combustão nem oxidação do metal e desde que a sucata seja relativamente limpa torna-se desnecessário o uso de equipamento de controle.

Quando se utiliza sucata impregnada com óleo de corte, haverá emissão de fumaça e vapor de óleo; os quais podem ser eliminados por pré-aquecimento da carga do forno.

A queima de resíduos de óleo da sucata produz efluentes desagradáveis, exigindo o uso de equipamentos de controle tais como pós-queimadores e/ou lavadores.

#### IV.1.4. FORNO REVERBERO

As emissões desse tipo de forno surgem principalmente da combustão do óleo mais alguma escória e óxido de ferro, que são descarregados pela chaminé com os produtos de combustão.

Os equipamentos mais utilizados são: lavadores de média energia (76 a 508 mm C.A. de perda de carga) ou filtros de tecido.

#### IV.2. PREPARAÇÃO E MANUSEIO DA AREIA

Processos tais como: sistemas mecânicos de manuseio da areia e mistura ou acondicionamento produzem problemas de emissão de material particulado.

O controle das emissões pode ser feito

através de lavadores de média energia e ocasionalmente são empregados filtros de tecido.

#### IV.3. CONFECÇÃO DO MACHO

As principais fontes são as estufas para cura e as máquinas de confecção de macho em casca, que emitem gases de difícil controle.

As emissões podem ser reduzidas, a quantidades toleráveis, modificando-se a composição do aglomerante e diminuindo-se a temperatura de cura. Caso contrário, o pós-queimador é o único equipamento de controle eficiente e, devido à baixa concentração dos poluentes, não há necessidade de pré-limpeza nem dispositivos para evitar retorno de chama.

O pós-queimador mais usado é o de chama direta com temperatura mínima na câmara de combustão de 750 °C e tempo de resistência mínimo de 0,5 seg.

Em alguns casos, particularmente nas estufas para machos maiores, é mais frequente o uso de pós-queimador catalítico com temperaturas de entrada de 315°C a 340 °C. Neste caso mantem-se o catalisador em boas condições para evitar a oxidação parcial dos poluentes.

#### IV.4. VAZAMENTO, RESFRIAMENTO E DESMOLDAGEM

Geralmente são usados captadores de tiragem lateral para a área de vazamento e captadores de tiragem lateral ou pelo fundo para a operação de desmoldagem.

O transportador do molde para resfriamento é enclausurado com chapa de metal.

A maior parte dos poluentes emitidos é material particulado, embora existam vapores orgânicos e gases em menores quantidades. Os equipamentos mais usados

são filtros de tecido e lavadores, sendo que os primeiros são preferíveis quando necessárias medidas máximas de controle.

Quando só a desmoldagem é controlada poderá ocorrer o entupimento das mangas do filtro devido à presença de umidade nos gases.

#### IV.5. LIMPEZA E ACABAMENTO

Os processos de limpeza com jateamento abrasivo e tamboramento são comumente controlados com filtros de tecido ou lavadores de média energia.

Nas operações de rebarbação e esmerilhamento são utilizados coletores centrífugos de lata eficiência ou filtros de tecido.

Os fornos para tratamento térmico do ferro fundido são uma pequena fonte de poluição do ar, controlada por filtros de tecidos ou lavadores.

Pode-se minimizar a emissão dos poluentes removendo-se o material orgânico aderido ao metal a ser tratado, por limpeza com vapor ou desengraxe com solventes.

#### IV.6. INOCULAÇÃO

Uma unidade de inoculação pode ser inclausurada ou dotada de captores. Os coletores mais empregados para o controle de suas emissões são os lavadores de média energia e os filtros de tecido.

ANEXO I - FORNOS INDUSTRIAIS

## ANEXO I - FORNOS INDUSTRIAIS

### 1. FORNO CUBILÔ

O forno cubilô é um equipamento de fusão empregado para a produção de ferros fundidos, por meio de refusão de materiais metálicos ferrosos e funciona baseado no princípio de contra corrente, ou seja, a carga metálica e combustível possuem um fluxo contrário ao do comburente, que é oxigênio do ar.

Como combustível é empregado o coque, que é introduzido inicialmente de forma a constituir uma coluna (pé de coque) para a sustentação das cargas. Posteriormente sua introdução se faz em porções menores, chamadas coque de fusão, juntamente com as cargas metálicas, usando-se a substituição do coque consumido pela combustão de parte do pé de coque.

#### Descrição do Forno

O forno cubilô é constituído basicamente das partes apresentadas na figura e descritas abaixo:

- Carcaça - envoltório cilíndrico de eixo vertical, construído de chapas de aço, em secções soldadas ou rebitadas entre si.

- Cadinho - parte inferior do forno, desde a soleira até o plano médio das ventaneiras. É o elemento básico para o dimensionamento do forno cubilô e tem por finalidade servir de reservatório para o ferro fundido e escória.

- Ventaneiras - orifícios para a entrada de ar. Construídas de ferro fundido e parafusadas internamente contra a carcaça.

- Anel ou caixa de vento - de secção retangular ou circular, que envolve todo o forno e serve

para a distribuição de ar nas ventaneiras.

- Cuba - parte do forno que vai do plano superior das ventaneiras até a porta de carga.

- Porta de carga - serve para dar entrada aos materiais da carga. Suas dimensões dependem do tipo de carregamento: "Skip" ou panela de fundo falso.

- Chaminé - prolongamento da cuba com a finalidade de levar os gases para fora do recinto de fundição.

- Bica de sangria - calha de aço ou ferro fundido, revestida de argamassa, pela qual o banho líquido jorra para o exterior do forno.

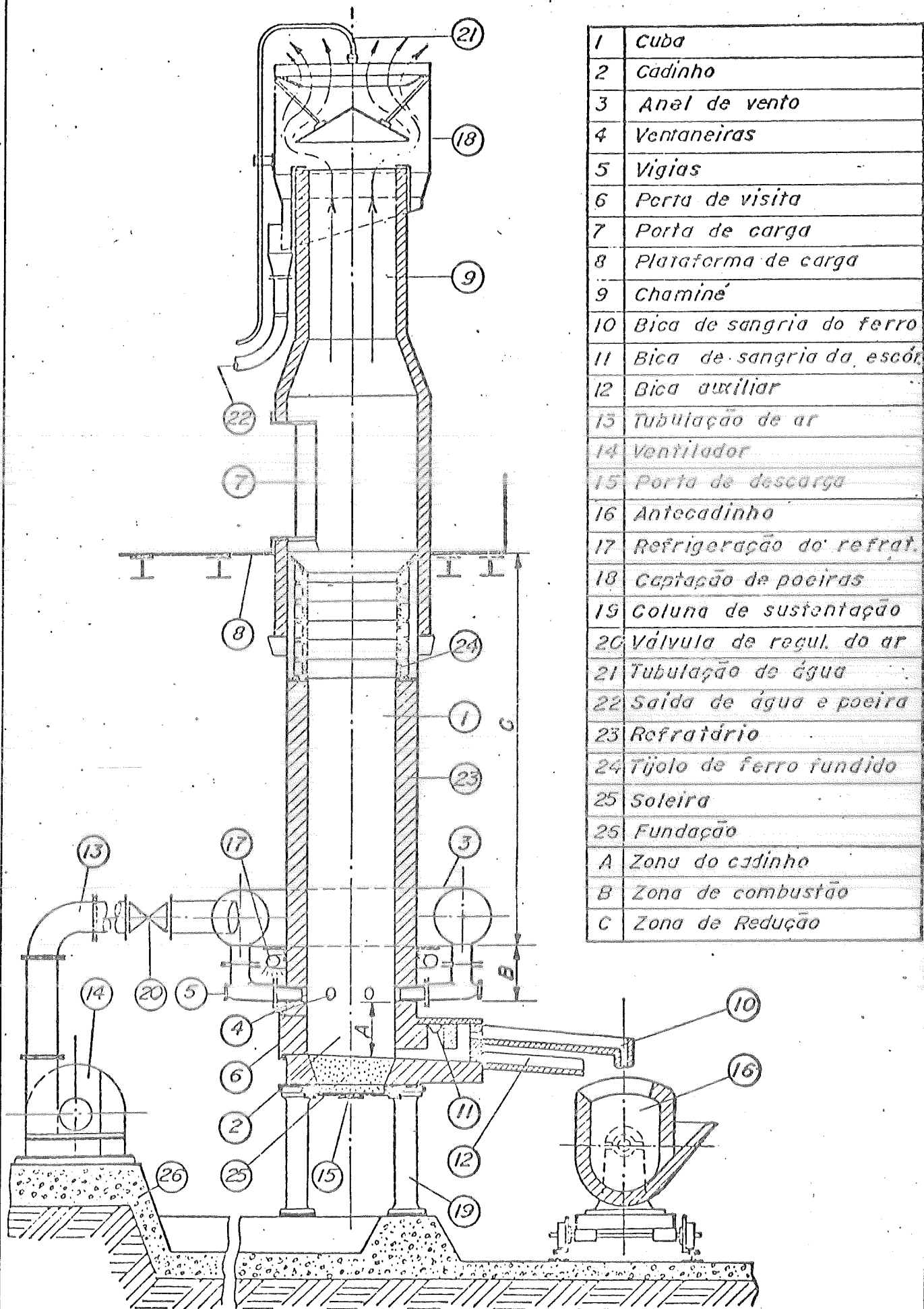
- Bica de sangria da escória - destina-se à retirada da escória e se situa 10 a 15 cm abaixo do plano inferior das ventaneiras. As bicas de escória e de ferro fundido podem constituir-se num só elemento no caso de sangria contínua.

- Porta de trabalho ou de visita - está, em geral colocada diametralmente oposta à bica de sangria do ferro fundido. Serve para possibilitar a preparação e acendimento do forno.

- Porta de descarga - abertura situada na base do forno, com a finalidade de retirar, por queda livre, os materiais de carga. Durante a operação é parte integrante do fundo, sustentando através da soleira, toda a carga.

- Soleira - fundo do forno feito de areia de moldar.

- Colunas de apoio - geralmente de ferro fundido, ou perfis de aço soldados, servem de sustentação do forno.



1	Cuba
2	Cadinho
3	Anel de vento
4	Ventaneiras
5	Vigias
6	Porta de visita
7	Porta de carga
8	Plataforma de carga
9	Chaminé
10	Bica de sangria do ferro
11	Bica de sangria da escória
12	Bica auxiliar
13	Tubulação de ar
14	Ventilador
15	Porta de descarga
16	Antecadinho
17	Refrigeração do refrat.
18	Captação de poeiras
19	Coluna de sustentação
20	Válvula de regul. do ar
21	Tubulação de água
22	Saída de água e poeira
23	Refratário
24	Tijolo de ferro fundido
25	Soleira
26	Fundação
A	Zona do cadinho
B	Zona de combustão
C	Zona de Redução

Forno Cubilô (ar frio)

## 2. FORNOS ELÉTRICOS

Os fornos elétricos oferecem vantagens sobre os outros tipos de fornos pela maior possibilidade de controle de temperatura, eliminação da necessidade de ar de combustão, maior rapidez de processamento e maior facilidade de instalação. Como a carga metálica não entra em contato com os gases de combustão, não há contaminação por elementos prejudiciais presentes nestes gases.

### 2.1. FORNOS ELÉTRICOS A ARCO

Nos fornos elétricos a arco direto, o arco voltaico se faz entre eletrodos e o material carregado, o qual deve ser necessariamente condutor de eletricidade. O calor é gerado tanto pela radiação do arco como pela resistência do banho. Usualmente empregam-se eletrodos de grafite ou de carbono amorfo, que penetram no forno através de aberturas na abóbada e podem ser movimentados verticalmente através de um sistema de regulagem.

O arco se forma entre os eletrodos e a carga. A sucata e o banho líquido são incluídos no trajeto da corrente elétrica. Em consequência, durante a fusão da carga sólida ocorrem fortes variações de corrente.

Desde o curto circuito entre os dois eletrodos através de um pedaço de sucata, até a extinção do arco, há uma constante oscilação, que se faz sentir em bruscas solicitações de carga na rede de distribuição de energia. Nos fornos elétricos a arco indireto isto não acontece, pois a distância entre as pontas dos eletrodos onde se faz o arco permanece praticamente constante. Nestes fornos o arco ocorre somente entre os eletrodos e a irradiação é o principal meio de transmissão de calor para o material. O arco indireto é relativamente estável, porém o consumo de energia é maior que nos fornos a arco direto, pois apenas uma parte da energia irradiada atinge a carga.

## 2.2. FORNOS ELÉTRICOS DE INDUÇÃO

Em princípio o forno de indução é um transformador no qual o primário é constituído por uma bobina percorrida por uma corrente alternada, que induz um campo eletro-magnético alternado na carga do forno, que constitui o secundário do transformador.

Mantendo-se a resistividade da carga entre determinados limites, induz-se no metal potência elevada que aquece rapidamente a carga até sua fusão.

Nos fornos de indução com núcleo, o secundário (onde se localiza a carga metálica) tem o formato de uma calha circular, que circunda o núcleo e a bobina primária. A secção pequena e o grande comprimento do banho na calha de fusão apresentam uma grande resistência à passagem da corrente que se transforma em calor e causa o aquecimento da carga.

Para o trabalho a partir de carga sólida este tipo de forno é menos adequado, deixando-se normalmente uma poça de metal líquido onde pouco a pouco se vai colocando pedaços de carga sólida para a corrida seguinte.

Assim, resultam as características principais deste tipo de forno: o cadinho em forma de calha, a necessidade de carregamento de material fundido, ou pelo menos a obrigação de deixar uma poça de metal líquido depois do vazamento.

O forno de indução sem núcleo funciona também segundo o princípio de um transformador, porém desprovido de seu núcleo magnético.

## 3. FORNOS REVÉRBEROS

Um forno revérbero opera baseado no calor radiante emitido pela chama do queimador, abóbada e

paredes, para o material a ser aquecido. Este tipo de forno foi desenvolvido particularmente para a fusão de materiais sólidos e para o refino e aquecimento dos líquidos resultantes.

O forno revérbero usualmente consiste de uma soleira de refratário, pouco profunda e geralmente retangular, para conter a carga metálica.

O forno é constituído por paredes laterais verticais e uma abóbada revestida de refratário. A combustão ocorre diretamente acima do banho de fundido; as paredes e a abóbada recebem calor radiante dos produtos de combustão e o irradiam para a superfície do banho. A transferência de calor é realizada quase inteiramente por radiação.

Provavelmente o maior dos fornos revérberos é o chamado Siemens-Martin, largamente utilizado na manufatura do aço.

Este forno opera em conjunto com dois regeneradores de calor, que transferem calor do efluente para o ar de combustão.

A carga é introduzida através de portas revestidas de refratário localizadas na parede frontal; o material acabado e a escória são removidos pelo furo de corrida que se encontra na parede posterior.

O calor é fornecido por uma chama luminosa, com excesso de ar, sobre o material carregado.

Um outro tipo de forno revérbero é o forno rotativo, que é um tipo de forno geralmente pequeno utilizado para alumínio, latão e outras ligas.

Nestes fornos a combustão é realizada através de dois queimadores colocados tangencialmente, deste modo obtém-se boa combustão e fusão rápida. O forno pode ser carregado através de uma abertura na parte superior ou da porta traseira. A porta traseira também funcio

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

na como acesso ao banho para adição de ligas ou remoção de escória.

Os fornos revêrberos frequentemente em pregam mecanismos de inclinação, o qual torna mais fácil a distribuição do metal para todos os tipos de fundição. O carregamento é realizado por meio de uma tremonha que serve como chaminé para os gases de exaustão.

A combustão se realiza na parte posteri or e a inclinação é promovida por um sistema hidráulico.

Muitas outras variações e combinações de fornos usando o princípio da reverberação podem ser encontrados nos projetos existentes.

#### 4. FORNOS CADINHO

Os fornos cadinho tem a forma de um de pósito circular, enterrado ou elevado e do tipo fixo ou basculante, revestido externamente de chapa e internamen te de tijolos refratários, podendo ser aquecidos por óleo, gás ou eletricidade.

O cadinho fica sobre um pedestal no cen tro do forno e é comumente construído de material refratá rio tais como misturas de argila e grafite ou carbonato de silício.

Os fornos cadinho são classificados como: basculantes, tipo enterrado (poço) e estacionários.

Todos os tipos são providos de um ou mais queimadores montados próximos da parte inferior da unidade, sendo que o forno é aquecido tanto por radiação como por contato com os gases quentes.

##### 4.1. FORNO BASCULANTE

O forno cadinho basculante é provido de um sistema de fixação do cadinho, que permite o bascula

mento do forno quando do vazamento.

O mecanismo de basculamento é operado manual, hidráulica ou eletricamente.

#### 4.2. FORNO ENTERRADO

O seu nome deriva de sua localização.

O topo do forno situa-se próximo ao nível de solo, o que facilita o carregamento do metal e a retirada do cadinho para vazamento. O vazamento é usualmente realizado utilizando-se o mesmo cadinho como panela de fundição.

#### 4.3. FORNO ESTACIONÁRIO

O forno estacionário é quase idêntico ao forno enterrado exceto por não estar embutido no solo. Estes fornos são usualmente empregados como fornos de espera, e o metal é vazado com o emprego de conchas de vazamento.

ANEXO II - EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUENTES

## ANEXO II - EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUENTES

### 1. COLETORES CENTRÍFUGOS SECOS

O ciclone simples é constituído de uma câmara cilíndrica com base cônica.

A corrente gasosa entra tangencialmente a alta velocidade na câmara, formando uma espiral descendente externa e uma espiral ascendente interna. O gás é descarregado axialmente pela saída no topo do ciclone. A aceleração centrífuga impulsiona as partículas contidas no gás contra a parede; a componente vertical da força e a gravidade forçam-nas para a parte inferior do ciclone de onde elas vão para um local de armazenamento. O pó deve ser removido sem perturbar o vortex da corrente gasosa, pois qualquer perturbação provoca a reentrada das partículas no fluxo e conseqüentemente perda de eficiência do equipamento.

Além do ciclone de entrada tangencial existem outros tipos como os ciclones de entrada axial e os ciclones de fluxo direto.

A eficiência dos ciclones é afetada por fatores dimensionais, características do gás e propriedades do pó.

A eficiência de captação aumenta com o aumento de:

- Tamanho de partícula
- Densidade da partícula
- Velocidade de entrada do gás
- Comprimento do corpo do ciclone
- Número de revoluções do gás
- Acabamento da parede do ciclone

A eficiência de captação decresce com o aumento de:

- Viscosidade do gás
- Diâmetro do corpo do ciclone
- Diâmetro do duto de saída
- Área de entrada do gás

Um ciclone pode ser projetado para tratar praticamente qualquer quantidade de material que o fluxo gasoso consegue movimentar.

Em geral, a eficiência do ciclone aumenta com o aumento da carga de particulado.

Desde que estas características não são comuns aos outros tipos de coletores de eficiência maior, os ciclones são frequentemente usados como pré-coletores onde as cargas de material particulado são muito altas para o coletor final.

A operação na capacidade de projeto é essencial para manter eficiência adequada.

Se o fluxo cai abaixo do normal, a espiral ou as forças centrífugas são reduzidas e a eficiência decresce. Por isto, válvulas não devem ser fechadas em um sistema de dutos sem que se observe o seu efeito.

A umidade deve ser evitada para prevenir entupimento da saída de pó, particularmente em pequenos ciclones. Exceções são as combinações de depuradores mecânicos e úmidos.

O arranjo de vários ciclones simples em paralelo constitui uma unidade chamada multiciclone. Através deste artifício, um grande volume de ar pode ser tratado utilizando-se unidades de pequeno diâmetro com grande aceleração centrífuga associada, resultando em maior eficiência de captação.

## 2. LAVADORES

Lavador é uma categoria de equipamento

de controle que inclui todos os dispositivos que utilizam água ou algum outro líquido para a remoção de contaminantes de um fluxo gasoso.

A captação de partículas neste tipo de equipamento é realizada em duas fases:

- Molhamento das partículas por contato com as gotas do líquido de lavagem.

- Retenção das partículas molhadas. Para esta finalidade podem ser utilizadas superfícies colocadas no percurso do fluxo gasoso, sendo também utilizadas a ação centrífuga ou a sedimentação gravitacional.

Os principais mecanismos de molhamento são:

Impactação por gotículas borrifadas - Um borrifo dirigido contra o trajeto do fluxo gasoso choca-se com as partículas com eficiência proporcional ao número de gotículas e a força concedida às gotas. Concluiu-se que o tamanho ótimo de gotícula é de cerca de 100 microns.

Difusão - Quando gotículas líquidas são dispersas entre partículas de poeira, as partículas depositam-se nas gotas por difusão. Este é o principal mecanismo de coleta de partículas menores do que 1 micron.

Condensação - Se um gás é resfriado a baixo do seu ponto de orvalho passando por um coletor úmido, ocorre condensação da umidade, e as partículas agem como núcleos de condensação. Este aumento efetivo no tamanho da partícula torna a captação mais fácil. A condensação é um mecanismo importante somente para gases que estão aquecidos inicialmente.

Os lavadores podem ser classificados em:

- Câmaras de borrifo (spray)
- Tipos centrífugos
- Unidades mecânicas ou dinâmicas
- Torres de enchimento
- Unidades de alta velocidade

As câmaras de borrrifo são projetos sim ples e consistem basicamente de uma câmara equipada com bicos de pulverização de água. A velocidade do gás dimi nui conforme ele entra no equipamento e as partículas mo lhadas vão para o fundo sendo coletadas. A saída da câmara é equipada com eliminadores de gôtas para prevenir a descarga de líquido na corrente de ar limpo.

Lavadores do tipo centrífugo utilizam entrada tangencial para forçar as partículas contra uma superfície molhada por meio de aceleração centrífuga. Uni dades mecânicas ou dinâmicas também empregam a aceleração centrífuga, mas através de um rotor e não pelo controle da direção do fluxo.

Na torre de enchimento o fluxo gasoso escoa por um leito de material de captação, fibroso ou gra nular, sobre o qual passa um líquido para prevenir reen trada das partículas depositadas e promover a limpeza da superfície de captação. A retenção do contaminante depen de do seu contato prolongado com a superfície de captação.

O elemento de captação deve ter grande área superficial e ser constituído com material de peque no peso específico. Estes equipamentos são usados extensi vamente para a captação de líquidos e limpeza de gases com cargas pequenas de particulado.

O desenvolvimento dos coletores úmidos progrediu muito nos últimos anos a ponto de ser possível boa eficiência de captação para partículas submicrônicas.

Pelo fracionamento extremamente fino das gotas de água é possível assegurar melhor contato en tre as partículas pequenas do contaminante e as particu las de água.

Usualmente isto é conseguido pelo uso de bicos de alta pressão ou bicos venturi de alta veloci dade. Nos sistemas de alta pressão são usadas pressões de

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

300 lb/in<sup>2</sup> ou maiores. Os bicos são dispostos de modo que o impacto entre as gotas de água seja minimizado, e o projeto deve assegurar máximo impacto entre as gotas de água e o material particulado.

No lavador venturi o contato entre o líquido e o contaminante é conseguido através da alta velocidade atingida pelo fluxo gasoso na garganta (onde é introduzida a água de lavagem).

Por causa das altas velocidades, as quedas de pressão do coletor são extremamente grandes, usualmente na faixa de 15 a 30 in c.a.

O espaço requerido para este equipamento é pequeno e usualmente a água usada pode ser recirculada.

O desgaste é um problema potencial dos lavadores, sendo frequentemente causado pela combinação de abrasão mecânica e corrosão. A corrosão é em sua maior parte devida ao enxôfre existente em vários processos industriais. A abrasão ocorre mais frequentemente na zona de captação, onde a velocidade das partículas é mais alta do que em outras áreas.

Materiais resistentes ao desgaste ou seções substituíveis devem ser previstas nos pontos de alta velocidade.

### 3. FILTROS DE TECIDO

É um tipo de equipamento em que o gás contaminado atravessa unidirecionalmente um tecido de tal maneira que as partículas de poeira fiquem retidas e o gás limpo saia para a atmosfera.

Os filtros usualmente empregados para controlar emissões de operações industriais são constituídos por mangas de tecido tubulares ou com o formato de envelope, sustentados por uma estrutura metálica e providas

de um dispositivo para a remoção do pó coletado. Conforme as partículas vão se acumulando sobre os elementos filtrantes, a perda de carga vai aumentando até que atinge um valor máximo desejável, neste momento procede-se a limpeza do filtro para reduzir a perda de carga. Os ciclos de limpeza podem ser manuais, semi-automáticos ou automáticos, e a limpeza deve ser efetuada no ponto de maior perda de carga (vazão mínima, isto é, filtro sujo) até se conseguir a menor perda de carga (vazão máxima, isto é, filtro limpo porém já usado).

Os filtros pequenos com área filtrante de até 45 ou 55 m<sup>2</sup> são frequentemente limpos manualmente. O uso de manômetro é essencial para o operador saber o momento em que deve iniciar a limpeza, e quando o filtro está adequadamente limpo.

A maioria das unidades filtrantes empregam algum tipo de chacoalhamento mecânico. É essencial que não haja pressão dentro do filtro tubular durante o ciclo de chacoalhamento, para não interferir na limpeza. Pressões da ordem de 0,51 mm de c.a. já evitam uma limpeza adequada.

A eficiência de limpeza pode frequentemente ser melhorada permitindo-se que um pequeno volume de ar flua em direção inversa através do filtro, causando colapso do material filtrante. Este método é frequentemente empregado com filtros de fibra de vidro.

Alguns filtros usam sistema de inversão de fluxo, podendo ser usado também o método de jato reverso onde um anel percorre a manga para cima e para baixo, injetando ar para deslocar a poeira coletada no interior da manga.

A velocidade de filtração é um parâmetro experimental que depende do tecido e da natureza do poluente. A regra de trabalho para razão ar-tecido em filtro convencional com tecido trançado é 0,5 a 0,9 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>

para pó e 0,3 a 0,6 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup> para fumos. A perda de carga normalmente varia de 50 a 200 mm c.a.

Para os gases serem tratados com segurança pelo filtro de mangas, a temperatura deve ser reduzida para os limites impostos pelo meio filtrante empregado. Outra consideração a ser feita é a respeito do ponto de orvalho. Se o fluxo gasoso estiver a uma temperatura muito próxima do ponto de condensação, haverá necessidade de um aquecedor na linha e a temperatura para escolha do tecido será aquela da saída do aquecedor, isto porque a umidade no interior do filtro propicia a formação de uma torta que adere ao tecido, dificultando a retirada do pó coletado e aumentando a resistência à passagem do gás.

Além disso, a resistência química do tecido deverá ser compatível com as características do efluente tratado.

#### 4. PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS

A função de um precipitador eletrostático é remover partículas (sólidas ou líquidas) de correntes gasosas.

Isto é feito passando o gás entre um par de eletrodos - um eletrodo de descarga de alto potencial e um eletrodo de captação aterrado.

Sob a ação de um campo elétrico ions do gás movem-se rapidamente em direção ao eletrodo de captação e transferem sua carga para as partículas por colisão.

O campo elétrico interagindo com a carga das partículas ocasiona sua ida e deposição sobre os eletrodos de captação.

A camada de poeira formada sobre o eletrodo de captação é removida por batimento intermitente. Na verdade este procedimento faz o pó retornar para a corrente gasosa, mas não no seu estado original, finalmente

dividido. Como resultado das forças de coesão desenvolvidas entre as partículas depositadas no eletrodo, a poeira retorna aglomerada de tamanho grande o suficiente que a gravidade causará sua queda nos silos abaixo dos eletrodos. Em essência o precipitador eletrostático age como um aglomerador de partículas com câmara de sedimentação.

Os mecanismos elétricos para a precipitação de partículas são:

- carregar eletricamente as partículas
- manter a força eletrostática que causa a ida das partículas carregadas para o eletrodo de captação.

Nos precipitadores eletrostáticos usualmente empregados na indústria os dois fenômenos ocorrem simultaneamente entrando como uma unidade de simples estágio.

No caso de condicionamento de ar e em algumas aplicações industriais, é usado um precipitador de dois estágios, no qual os dois mecanismos estão separados. Um conjunto de eletrodos carrega eletricamente as partículas e outro conjunto fornece a força eletrostática que precipita as partículas carregadas.

Uma outra diferença interessante existente entre um precipitador industrial e de ar condicionado é a polaridade dos eletrodos de descarga. O precipitador industrial quase invariavelmente emprega um eletrodo de descarga de polaridade negativa, porque uma alta queda de voltagem pode ser usada antes que ocorra a interrupção do faiscamento.

A voltagem mais alta torna possível carregar as partículas a um nível mais alto e também torna maior a força do campo elétrico para a precipitação. Um eletrodo de descarga positivo é usado em ar condicionado, porque menos ozona é produzido. Desde que a quantidade de

ozona tolerada em condicionamento de ar é limitada, a eficiência é sacrificada para que a produção de ozona seja menor nestas aplicações.

Os componentes essenciais de um sistema de eletrodos são: um eletrodo de descarga de arame fino e um eletrodo de captação de superfície plana.

Os arames são fixados a um suporte superior isolado e tensionados por pesos colocados em sua parte inferior. Para reduzir o balanço dos eletrodos, grupos de pesos são frequentemente ligados entre si por uma armação para aumentar a massa efetiva do sistema.

Para o sistema de arame e tubo, o fluxo gasoso, desce externamente aos tubos subindo pela parte interna. Para o sistema de arame e prato o fluxo gasoso pode ser vertical entre os pratos, mas usualmente é horizontal. Ambas as superfícies dos eletrodos de captação e arames devem ser verticais onde a captação gravitacional das gotas de líquido ou poeira aglomerada é empregada. Mesmo que a remoção por gravidade do líquido ou sólido coletado não seja levado em conta, a orientação vertical dos arames é desejável para simplificar a manutenção e a tensão dos arames.

O precipitador eletrostático é um dos muitos tipos de equipamentos de captação de particulados disponíveis. Entretanto, uma de suas características mais marcantes é a alta eficiência de captação de poeiras finas. Na indústria de petróleo, eficiências de captação acima de 99,5% (baseado na perda de catalizador nos ciclos separados) são comuns na recuperação de catalizador.

Em resumo as vantagens do precipitador são:

- Pode tratar grandes volumes de gases a altas temperaturas.
- Tem perda de carga quase desprezível

- Tem alta eficiência de captação para uma faixa ampla de concentrações e tamanhos de partícula.

- Seus custos de manutenção e operação são baixos.

Suas desvantagens são: 1. Grande espaço para instalação; 2. Alto custo inicial; 3. Perigo de explosão quando operando com materiais inflamáveis.

As aplicações usuais para captação de poeiras são:

- Recuperação de material valioso tal como catalizador do processo de craqueamento catalítico.

- Purificação dos gases a serem queimados, tais como gases de alto forno utilizados para energia ou aquecimento.

- Prevenção de poluição do ar por gases contaminados exauridos para a atmosfera.

- Limpeza de ar de ventilação.

A justificativa para escolher um coletor, por exemplo, um precipitador eletrostático, depende do que deve ser removido do gás. O precipitador não se justifica para poeira grosseira, porque este trabalho pode ser realizado por um ciclone com custo mais baixo.

Se o gás contém algum vapor que deve ser removido juntamente com o pó, usa-se um lavador, porque um precipitador não removerá o vapor. Mas, se o pó é fino e deve ser removido com alta eficiência e pequena perda de carga, com frequência o precipitador é o único coletor que pode ser usado.

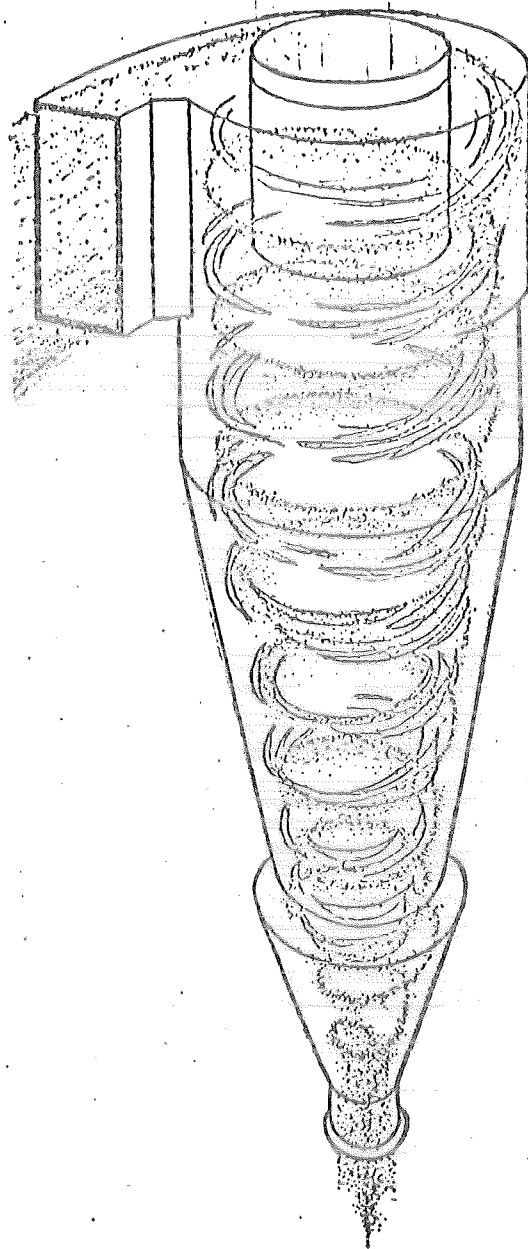


Fig 1. Ciclone de entrada tangencial

## BIBLIOGRAFIA

- Compillation of Air Pollutant Emission Factors.  
U.S. Environmental Protection Agency - 1975
- Air Pollution  
Arthur C. Stern - 1962
- Foundry Air Pollution Control Manual  
American Foundrymen's Society - 1967
- Curso de Fundição  
Associação Brasileira de Metais - 1975
- Princípios Metalúrgicos de Fundição  
V. Kondic - 1973
- Ferros Fundidos Cinzentos de Alta Qualidade  
Sociedade Educacional Tupy - 1974
- Custos de Controle - Projeto 22/76 - CETESB  
Adelino da Costa Andrade, Luiz Carlos da Costa e  
José Carlos Escanhola
- Prazos de Projetos, Fabricação e Instalação (E.C.P) -  
CETESB.  
José Carlos Escanhola, Adelino da Costa Andrade e  
Ademir Fornazaro.
- Estudo sobre o Setor de Fundição  
Mercado Nacional - 1975 - Tecnometal
- Contaminacion en Siderurgia  
Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero - 1975

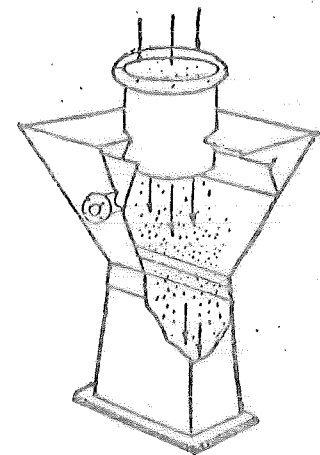
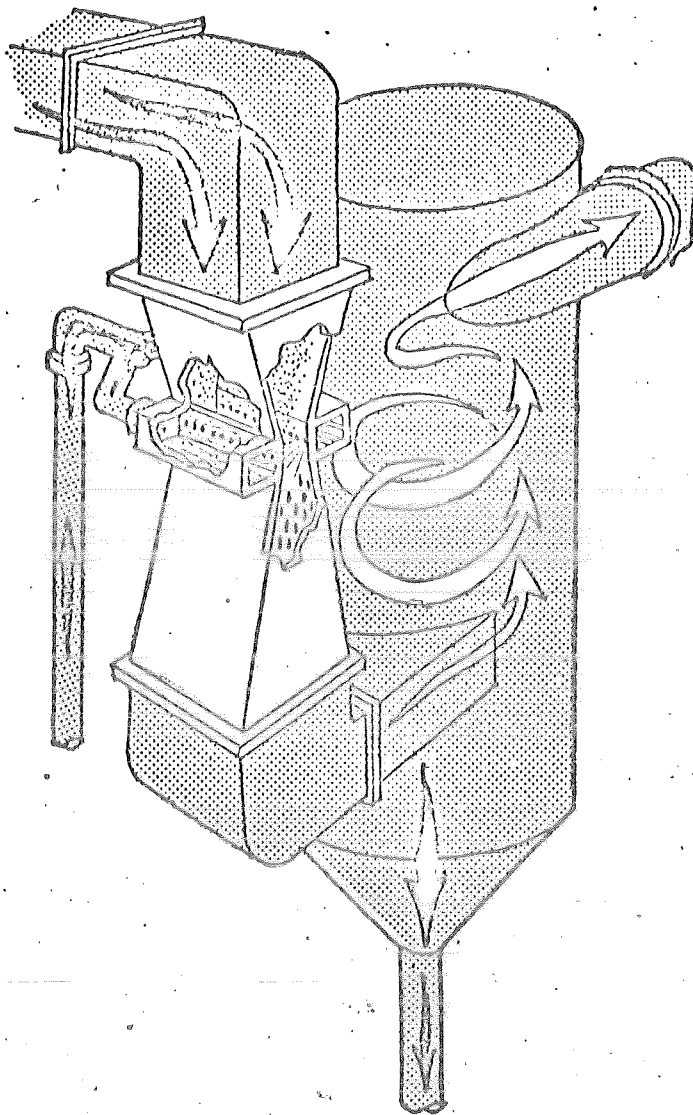
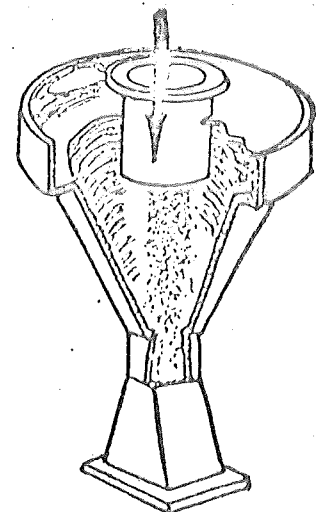


Fig 2. Lavador venturi com eliminador de gotas.

Ao lado, os dois tipos mais comuns de garganta de venturi.



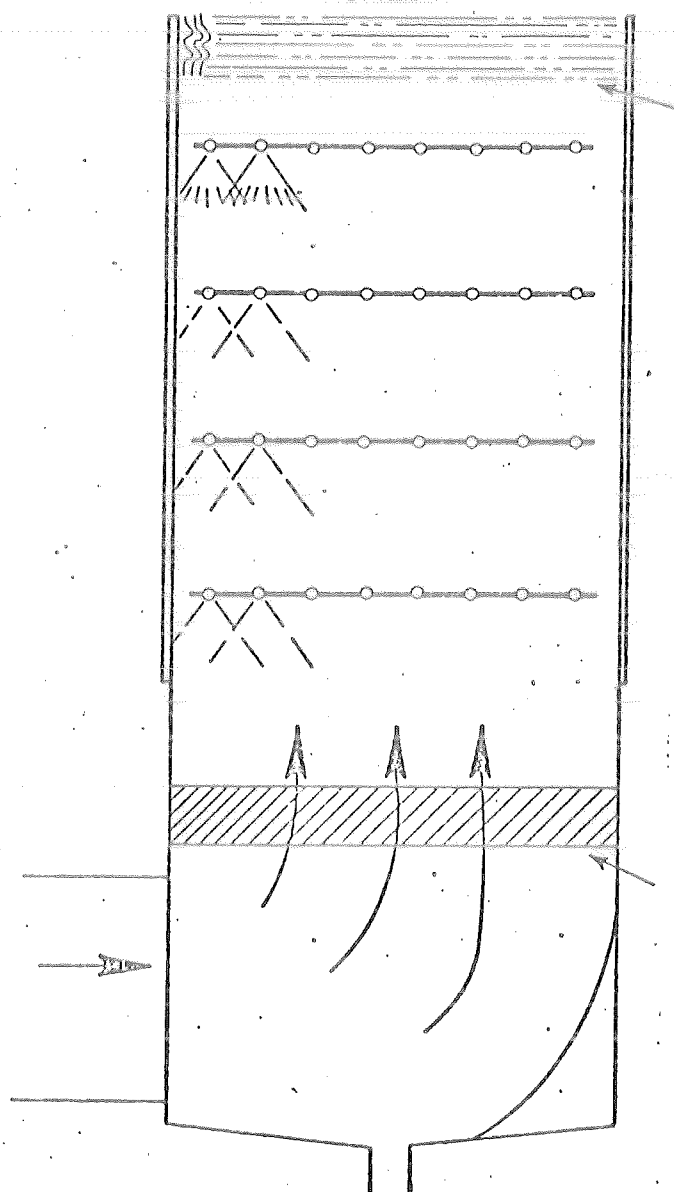
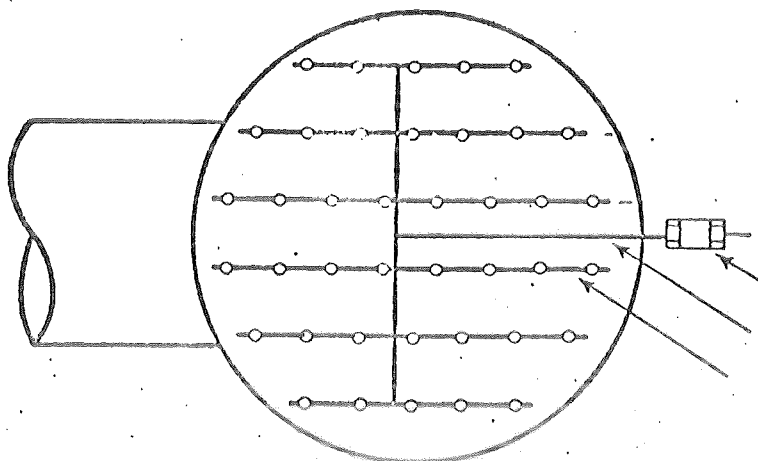


Fig. 3 - Torre de Spray

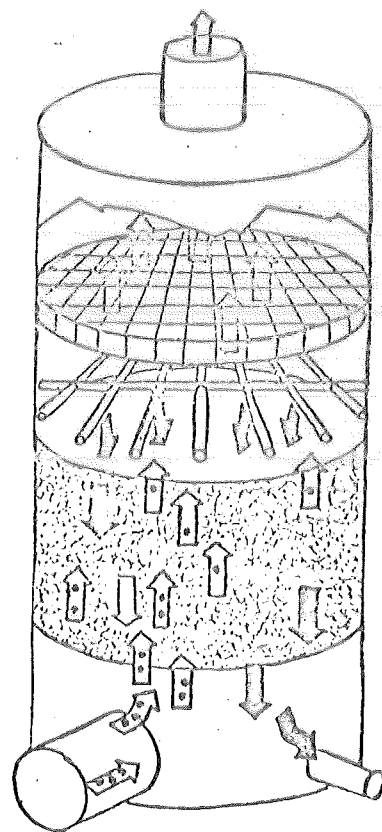


Fig. 4 - Torre de Recheio

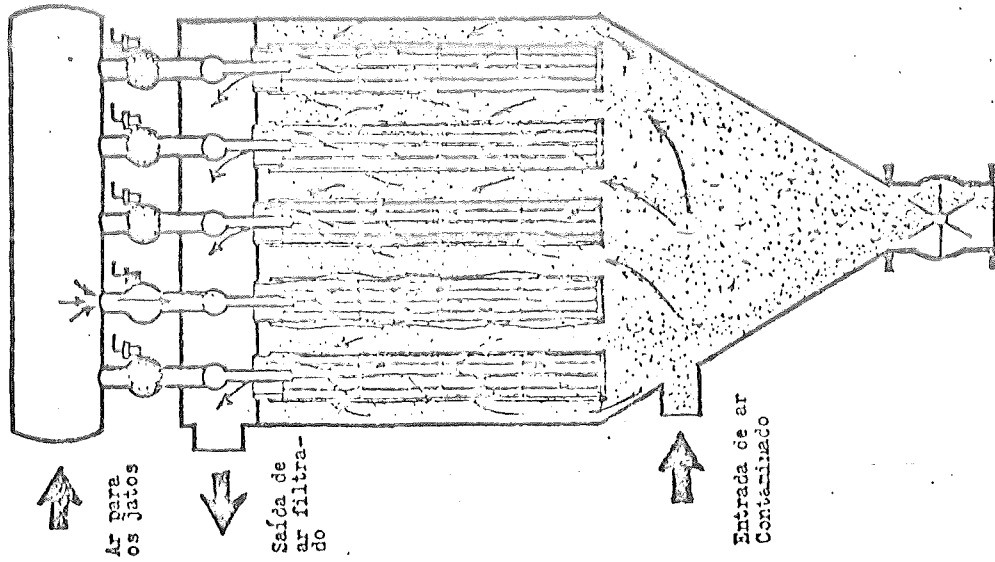
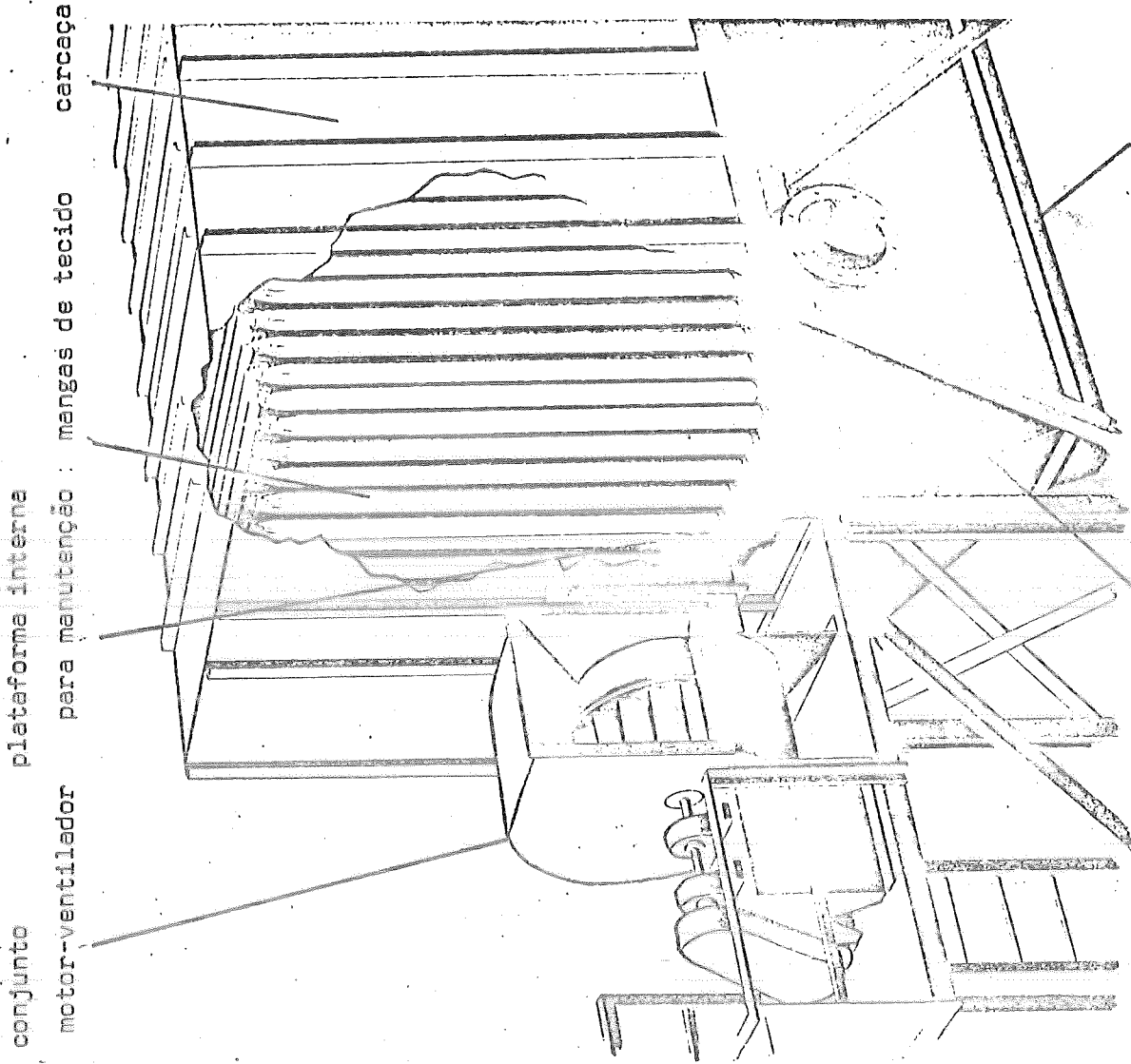


Fig. 5 - Filtro de mangas sistema de limpeza por reversão de fluxo

silo para armazenamento do pó coletado

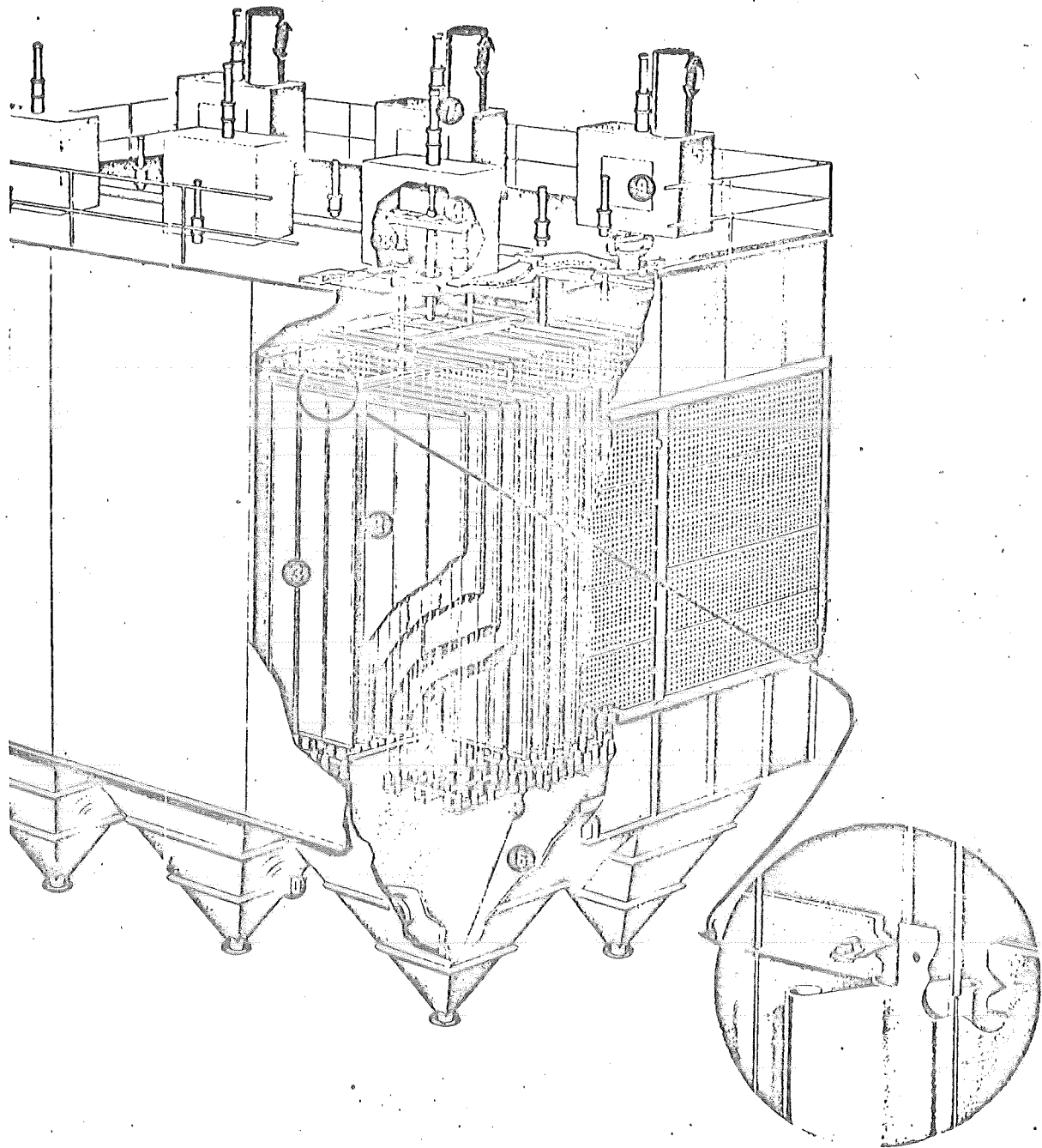


Fig. 6 - Precipitador Eletrostático

## 5. SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUENTES

Na seleção preliminar do tipo de equipamento para um determinado processo os seguintes fatores devem ser considerados, usualmente na ordem dada:

- Eficiência de captação exigida.
- Adequação do equipamento às condições de serviço, incluindo:
  - a. temperatura e natureza do gás de transporte
  - b. propriedades do material particulado, tais como: distribuição de tamanho de partícula, higroscopicidade, propriedades elétricas, inflamabilidade.
  - c. material empregado na construção do equipamento, incluindo tecidos, quando usados.
- Custo do equipamento, incluindo: investimento inicial; custo de instalação, operação e manutenção.
- Espaço requerido, o que em certos casos pode dificultar o uso de equipamento satisfatório.
- O período em operação, isto é, levar em conta a necessidade de paradas para manutenção.
- Fatores variados, incluindo, facilidade de manutenção, segurança quando trabalhando com poiras tóxicas, devendo-se procurar evitar efeitos secundários, tais como, plumas visíveis, efluentes líquidos de difícil tratamento, etc.

Para se ter uma idéia mais precisa do desempenho de um equipamento é necessário conhecer a distribuição de tamanho das partículas a serem coletadas e a eficiência de captação do coletor em relação ao tamanho destas partículas.

Na tabela I, temos a eficiência de alguns tipos de equipamentos para diferentes faixas de tama

nhos de partícula. Estes dados permitem a seleção preliminar em termos de granulometria da poeira a ser tratada. A tabela mostra, por exemplo, que se a poeira é grosseira (44 microns) o coletor mais simples e mais barato, tal como um ciclone simples, tem alta eficiência, mas para captar poeiras mais finas somente precipitadores eletrostáticos, lavadores de alta energia ou filtros de tecido têm bom desempenho.

A tabela II nos dá algumas características dos tecidos usualmente empregados na captação de material particulado.

TABELA I - Eficiências de captação de equipamentos de controle para tamanhos de partículas diversas\*.

EQUIPAMENTO	EFICIÊNCIA %					
	TAMANHO DE PARTÍCULA, MICRONS					
	TOTAL	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 44	>44
Ciclone Simples	65,3	7,5	22	43	80	90
Ciclone de Cone Longo	84,2	40	79	92	95	97
Multiciclone (12 in de diam.)	74,2	25	54	74	95	98
Multiciclone (6 in de diam.)	93,8	63	95	98	99,5	100
Precipitador Eletrostático	97,0	72	94,5	97	99,5	100
Torre de Spray	94,5	90	96	98	100	100
Lavador Spray auto-induzido	93,6	85	96	98	100	100
Lavador Venturi	99,5	99	99,5	100	100	100
Filtro de Tecido	99,7	99,5	100	100	100	100

\* Dados baseados em poeira padrão de sílica com a seguinte distribuição em peso e tamanho das partículas.

TAMANHO DE PARTÍCULA (microns)	PORCENTAGEM EM PESO
0 a 5	20
5 a 10	10
10 a 20	15
20 a 44	20
>44	35

Fonte:.. Compillation of Air Pollutant Emission Factors.

TABELA II - CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS TECIDOS

FIBRA	Temperatura de Operação °F		Suporta Combustão	Composição	RESISTÊNCIA <sup>a</sup>				Comparação de Custo <sup>b</sup>
	Larga	Curta			Abrasão	Ácido Mineral	Ácido Orgânico	Alcalis	
Algodão	180	225	Sim	Celulose	B	M	R	B	1
Lã	200	250	Não	Proteína	B	R	R	M	7
Nylon <sup>c</sup>	200	250	Sim	Poliâmida	E	M	R	B	2
Orlon <sup>c</sup>	240	275	Sim	Poliacrilonitrila	B	B	B	R	3
Dracon <sup>c</sup>	275	325	Sim	Poliéster	E	B	R	B	4
Polipropileno	200	250	Sim	Olefina	E	E	E	F	6
Nomex <sup>c</sup>	425	500	Não	Poliâmida	E	R	E	B	8
Fibra de Vidro	550	600	Sim	Vidro	M-R	E	E	M	5
Teflon <sup>c</sup>	450	500	Não	Poli-fluoretileno	R	E	E	E	9

Fonte: PB 190 2533

(a) M = Má (b) Comparação de custo, 1 = Custo mais baixo, 9 = Custo mais alto

R = Regular

B = Boa

E = Excelente

(c) " Dupont " Marca Registrada.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

ANEXO III - CUSTOS DE CONTROLE

## ANEXO III - CUSTOS DE CONTROLE

### 1. INTRODUÇÃO

Da mesma forma que é exigida uma precisa avaliação dos recursos financeiros para a aquisição de bens produtivos, justifica-se uma análise acurada dos re cursos a serem empregados no controle da poluição, utili zando-os da maneira a mais racional.

A estimativa dos investimentos deve par tir da definição dos níveis de redução de poluentes dese jada, a fim de minimizar a aplicação.

Algumas medidas podem ser tomadas para reduzir as emissões, destacando-se entre elas o estudo e reformulação dos processos industriais. Contudo, em mui tos casos o nível de redução obtido não é suficiente.

Exclusa a possibilidade de reformulação dos processos industriais como alternativa de redução de emissões, deve-se adotar um equipamento de controle, que preencha as necessidades técnicas do processo, e que seja, na medida do possível, a melhor opção em termos econômi cos.

Uma análise técnica é necessária em ca da caso, baseando-se nas fases do processo de produção, ti pos de carga, potência elétrica aplicada, duração e inten sidade dos sopros de oxigênio, detalhes dimensionais dos fornos, dos edifícios, áreas previstas para instalação e possíveis interferências na produção.

### 2. EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE PARTICULADOS

Os equipamentos básicos para o controle de material particulado emitido pelos diferentes proces sos industriais, disponíveis no mercado são: precipitado res eletrostáticos, lavadores, filtros de tecido e ciclo nes.

Alguns fatores relevantes devem ser observados em relação aos equipamentos citados.

a) Os precipitadores eletrostáticos oferecem como ponto favorável à sua adoção, altas eficiências de retenção para certos tipos de poeiras, baixa resistência à passagem dos gases e baixo consumo de energia elétrica, o que influe no seu custo operacional. Suas vantagens residem na impossibilidade de uso quando de misturas gasosas próximas ao limite de explosividade, além de exigirem, em alguns casos, um pré-condicionamento dos gases com vapor de água para reduzir a resistividade das partículas. O investimento necessário à sua implantação é o mais elevado dos equipamentos de controle, porém tem um custo operacional relativamente baixo.

b) Os filtros de tecido por sua vez, possuem grande eficiência para a coleta de poeiras secas, tem um investimento menor que o dos precipitadores eletrostáticos e possibilitam a utilização imediata do material captado. Tem como desvantagem a sua baixa resistência às altas temperaturas, o que exige, para seu uso, novos investimentos em tubulações de ar para resfriamento dos gases.

c) Os lavadores oferecem a possibilidade de coleta de gases e partículas simultaneamente. Geralmente menor que os demais equipamentos, ocupa menos espaço, podendo ser montado nas proximidades dos fornos. Gases e névoas corrosivas podem ser coletados e neutralizados. A desvantagem destes equipamentos é a necessidade de água disponível. Em alguns casos os resíduos líquidos também requerem tratamento, antes de sua disposição final, o que pode ser difícil devido ao espaço disponível e exigindo novos investimentos. Tem maiores possibilidades de corrosão do que os precipitadores eletrostáticos e os filtros de tecido, e o seu custo operacional é mais alto do que os dos dois anteriores.

d) Os ciclones, na maioria dos casos,

são utilizados como pré-coletores. O material coletado é constituído de partículas grandes que podem ser reaproveitadas diretamente no processo. Tem baixo custo operacional. A desvantagem dos ciclones é sua baixa eficiência de controle para partículas pequenas, as quais devem ser coletadas num segundo equipamento.

### 3. CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE

Considerados os equipamentos possíveis de adoção, pode-se definir o volume de investimentos que cada equipamento exigirá, através dos custos relacionados, que incluem:

- Estudos e Projetos (incluindo desenhos técnicos, viagens, etc.)

- Custo do Equipamento (montante pago pela estrutura básica, painéis de instrumentação, impostos, fretes, seguros, etc.)

- Custos de Equipamentos Auxiliares (transformadores, geradores, ventiladores, motores, etc.)

- Peças e Ferragens (dutos, vigas, cabos, etc.)

- Instalação do Sistema (custos da mão de obra, rearranjo físico, rede elétrica, etc.)

- Modificações na Estrutura ( modificações ocasionais nos prédios, pintura, mão de obra, etc.)

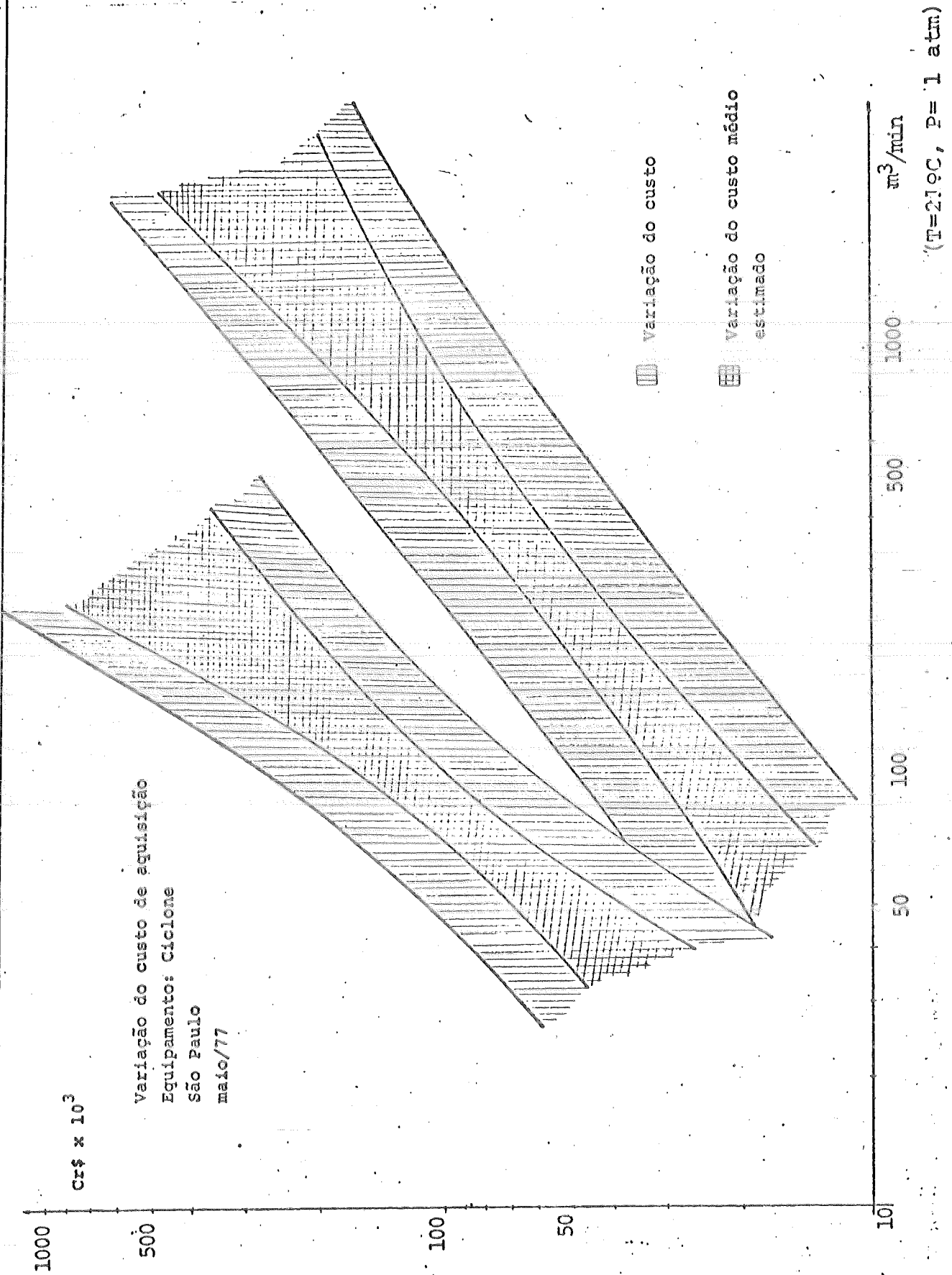
- Testes e Ajustes (considerando-se a mão de obra necessária e interrupções na produção)

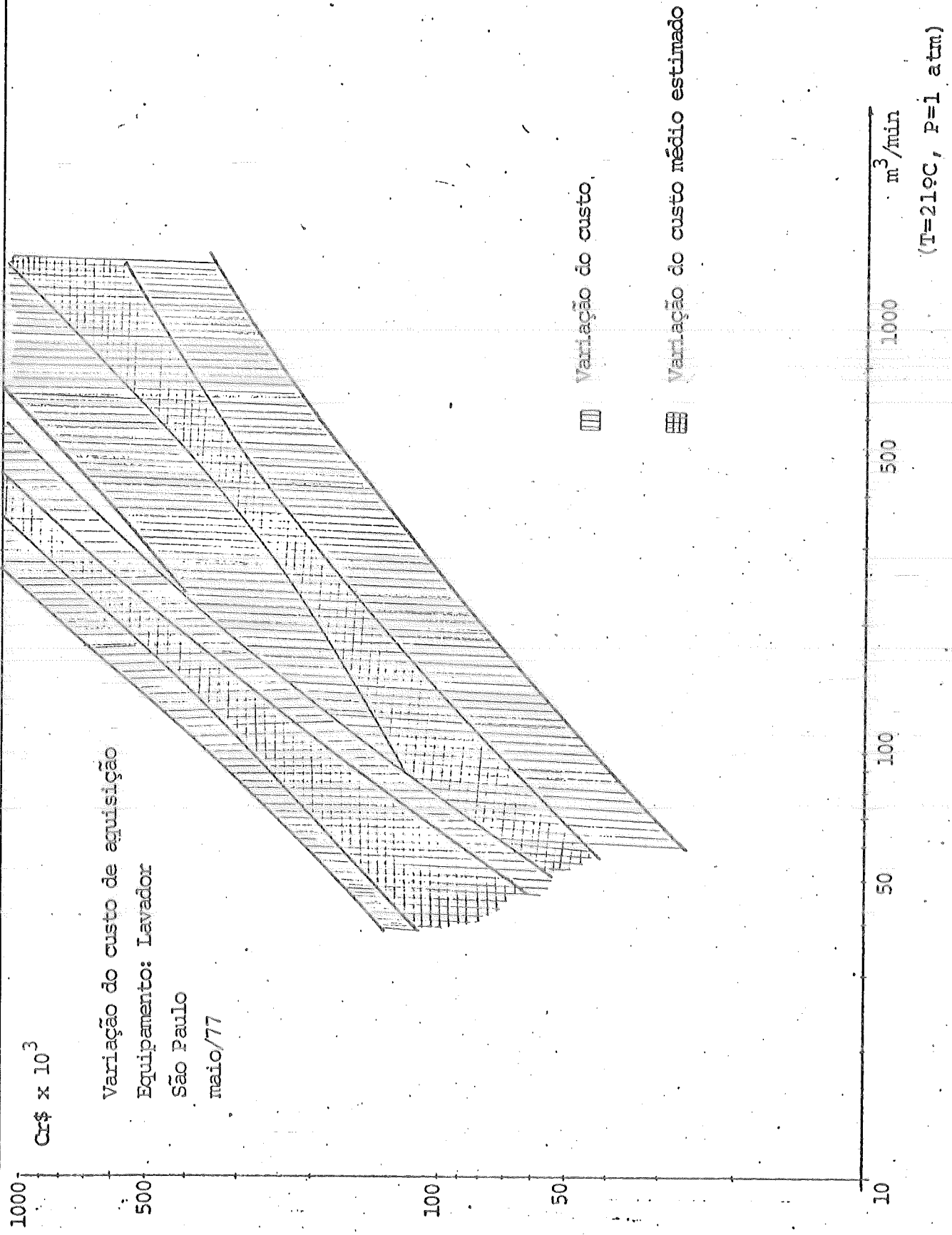
Através do estudo sobre custos de equipamentos, efetuado em São Paulo em fins de 1976, pode-se estimar um custo médio para cada tipo de aparelho. Os custos apresentados para os equipamentos de controle, foram reajustados de acordo com o Índice Geral de Preços, publicado pela revista Conjuntura Econômica (FGV), coluna 2.

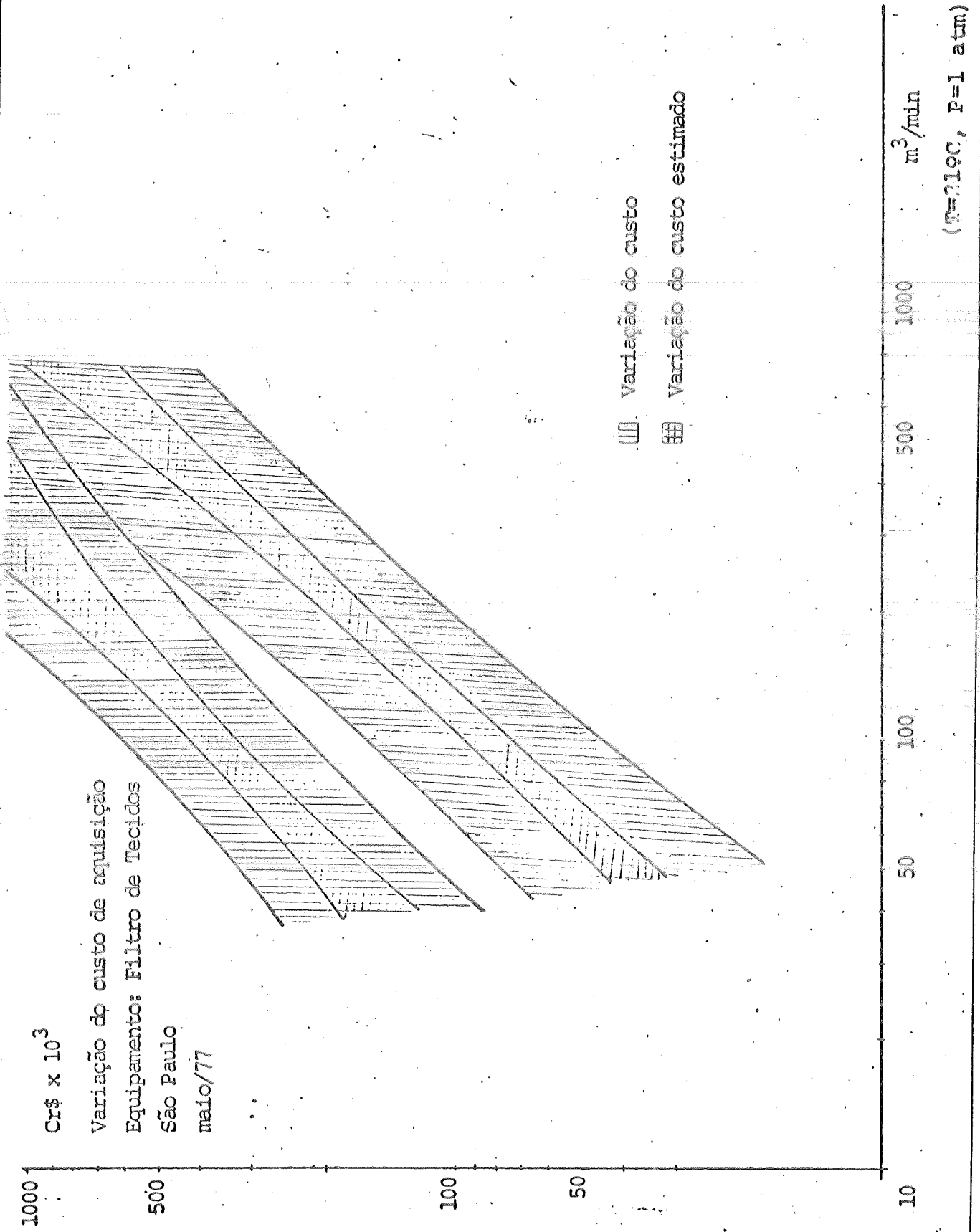
Os valores apresentados nos gráficos a seguir, foram determinados para o custo de aquisição, sendo este uma função da vazão projetada dos equipamentos.

Custo de Aquisição é o montante pago pelos equipamentos, estruturas básicas, bombas, painéis de instrumentação, fretes e impostos, somando-se ainda o custo de projeto.

Os custos citados variam, refletindo as variações de construção, modelos, materiais empregados, durabilidade, garantias fornecidas, etc.







Para se obter o volume total dos investimentos, além do custo de aquisição, devem-se considerar as despesas com os equipamentos auxiliares, peças e ferragens, os custos de montagem, modificações na estrutura e testes finais, podendo o montante de investimento ser de finido como o custo total instalado.

O custo total instalado varia em função da complexidade de montagem de um equipamento em determinadas instalações. Pode-se expressar este custo em forma de percentual ao custo de aquisição.

Os ciclones podem sofrer um acrêscimo de 40 a 120% em relação ao custo de aquisição, os lavadores de 60 a 150%, os filtros de tecido de 90 a 120% e os precipitadores de 85 a 120%.

O total dos investimentos é um fator importante na análise para a determinação de um equipamento a adotar, porém não é suficiente, devendo entrar nas considerações outros custos além dos citados, como depreciação, juros sobre o capital aplicado, custos operacionais e de manutenção.

#### 4. CUSTO ANUALIZADO

Um método que permite a comparação entre diversos projetos é o do custo uniforme equivalente anual, que converte uma soma investida numa determinada data em uma série equivalente de valores anuais iguais, que incluem a depreciação e juros. A estes valores pode-se então somar os desembolsos anuais relativos à operação e manutenção.

Uma fórmula exata para este cálculo foi adotada nos exemplos citados:

$$C = T \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + O + M$$

Onde, C = custo anualizado  
 T = investimento total  
 i = taxa de juros  
 n = tempo de vida útil do aparelho  
 O = custo de operação  
 M = custo de manutenção

O custo de operação considerado para o filtro de tecido é relativo ao custo de energia elétrica consumida, o mesmo acontecendo aos precipitadores eletrotáticos e ciclones, variando como função dos tamanhos e perda de carga.

Para os lavadores, além da energia elétrica, considerou-se a água e reagentes necessários à lavagem dos gases, os quais variam em função da vazão e temperatura do fluxo efluente a ser lavado.

O custo de manutenção para o filtro de tecido é composto de despesas relativas à reposição de mangas danificadas, serviços nos ventiladores, mecanismo de agitação e esvaziamento dos depósitos.

Para os lavadores o custo é relativo aos serviços no motor, ventilador e bombas, reposição de bicos ejetores, filtros e limpeza nas tubulações.

Os precipitadores tem o seu custo baseado nas trocas de eletrodos de descarga e de outros componentes eletrônicos, serviços de lavagem das placas, serviços no ventilador, e reparos no sistema de limpeza.

Foram considerados para o custo de manutenção dos ciclones os serviços no ventilador, trocas de partes gastas por abrasão e limpeza das tubulações.

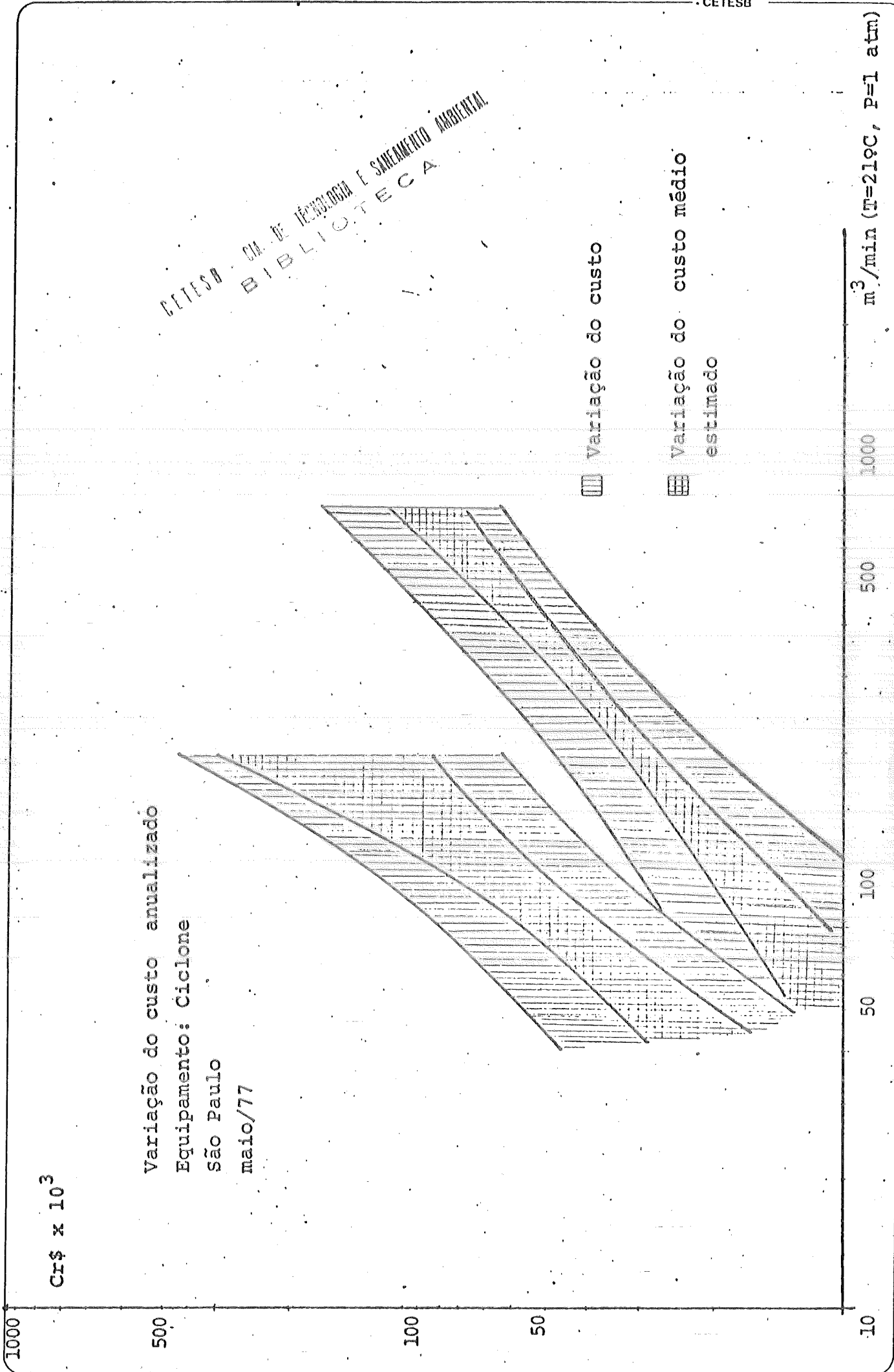
Os gráficos a seguir mostram os valores estimados para custo anualizado dos equipamentos.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

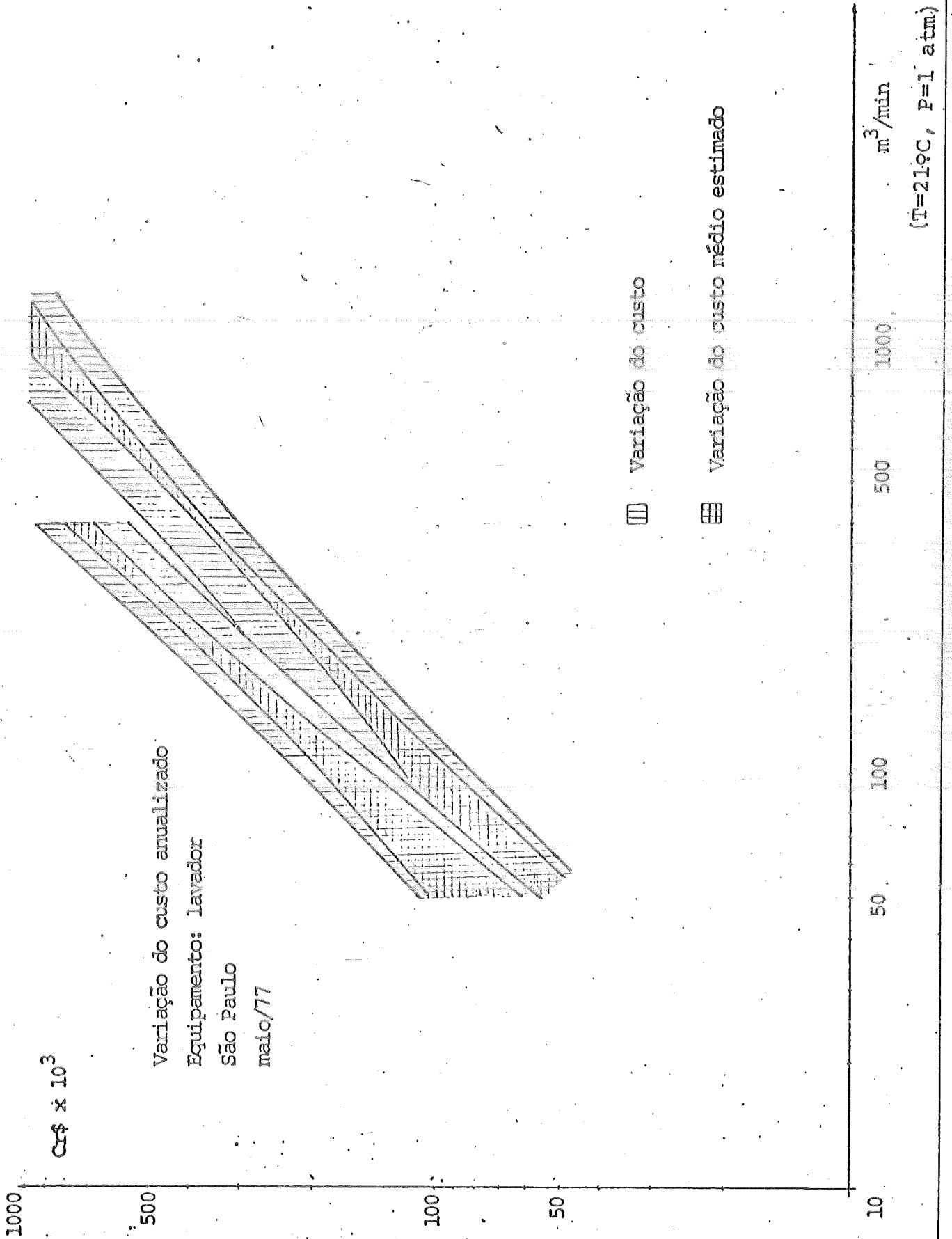
Cr\$ x 10<sup>3</sup>

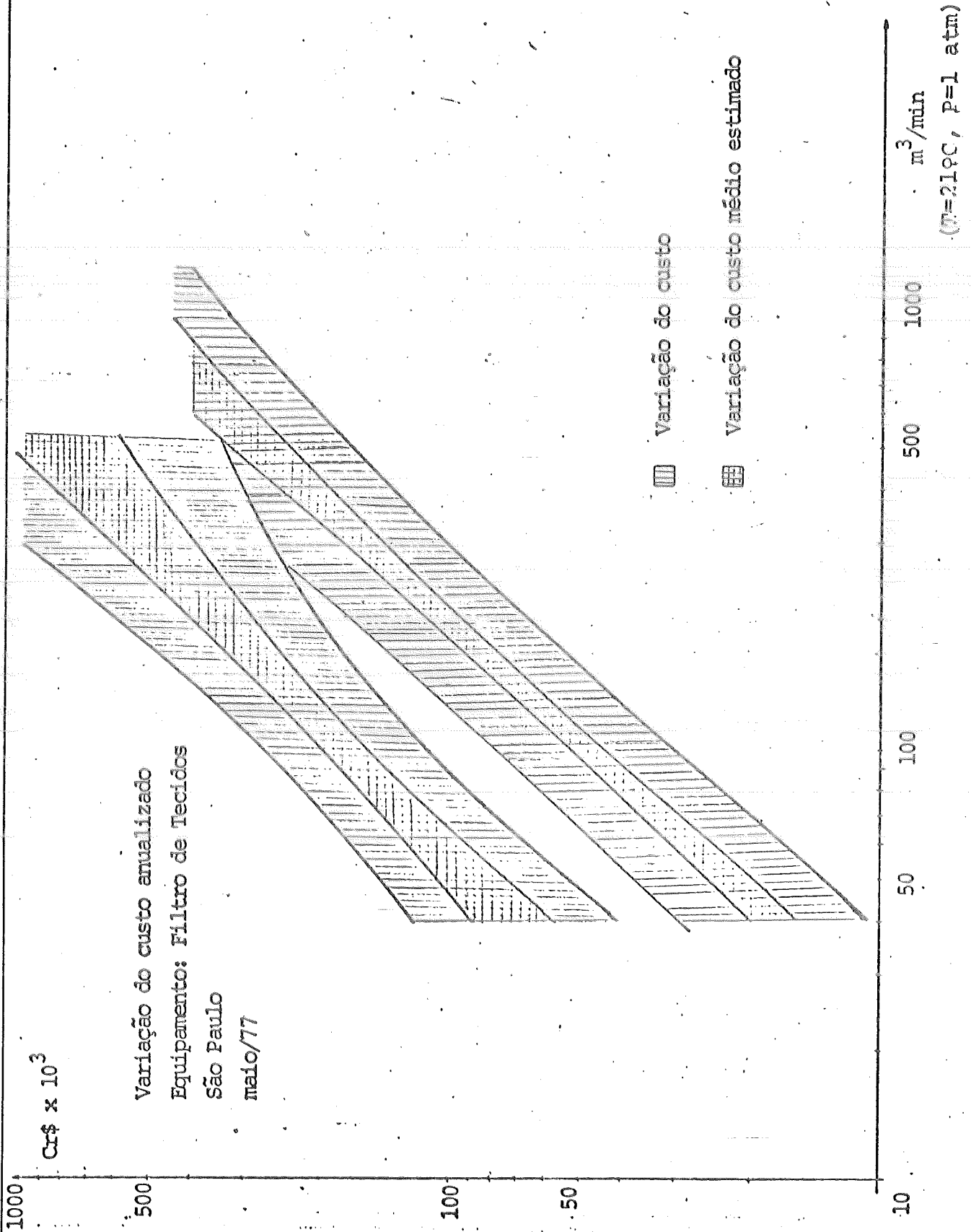
Varição do custo anualizado  
Equipamento: Ciclone  
São Paulo  
maio/77

▨ Variação do custo  
▧ Variação do custo médio estimado



m<sup>3</sup>/min (T=21°C, P=1 atm)





Atualmente, existe um pequeno número de precipitadores eletrostáticos fabricados e instalados em São Paulo, o que impossibilitou a determinação de uma faixa de custo para estes equipamentos.

A partir de 3 amostras pode-se estimar os valores a seguir:

custo de aquisição para precipitadores com  $1.800 \text{ m}^3/\text{min}$  de vazão apresenta uma variação de ... Cr\$ 2.800.000, a Cr\$ 3.700.000, sendo o custo anualizado estimado de Cr\$ 1.500.000, a Cr\$ 1.900.000,.

Os resíduos obtidos nos filtros em forma de lama ou pó seco, em alguns casos, podem ter alguma aplicação industrial ou de venda, outras vezes, pela impossibilidade de aproveitamento, necessitam ser removidos, o que gera despesas com armazenamento temporário, de transporte e de disposição final em local adequado.

Devido às dificuldades de generalização, uma vez que cada indústria pode ter um sistema específico e seu custo relativo, não se considerou o custo de disposição ou descarte de resíduos, nem o possível retorno sobre o investimento.

##### 5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os custos mostrados, refletem a atual estrutura de mercado para este tipo de equipamento, o qual se baseia na produção (na grande maioria sob encomenda), dependendo das especificações de projeto.

Atualmente, existe por volta de 35 empresas de São Paulo, entre projetistas e fabricantes especializados em sistemas de controle.

Os prazos atuais para os serviços de projeto, fabricação e instalação, solicitados por estas empresas podem ser vistos na tabela a seguir.

TABELA I - Prazos de projetos, fabricação e instalação de sistemas de controle.

EQUIPAMENTO	Prazos (em dias corridos)		
	Projeto	Fabricação	Instalação
Filtro de Tecido	26 a 53	56 a 115	18 a 51
Precip. Eletros.	45 a 75	140 a 200	75 a 130
Lavador	22 a 45	47 a 92	18 a 44
Ciclone	21 a 44	45 a 72	17 a 36

Um outro fator de influência nos preços dos equipamentos e nos prazos de entrega é a instabilidade do mercado, que ainda se encontra em fase de estruturação entre oferta e demanda. Embora as empresas existentes não sejam consideradas de grande porte, existe uma capacidade ociosa estimada de 50% para as diversas fases de implantação de um sistema (projeto, fabricação, instalação).

Até 1970, a maioria dos equipamentos de controle eram importados. Posteriormente, devido a ampliação na procura e do processo de substituição de importação de máquinas e equipamentos, estes aparelhos passaram a ser projetados e fabricados no Brasil. Atualmente estima-se os seguintes índices de nacionalização.

TABELA II - Índices de nacionalização (%).

EQUIPAMENTO	Atividade		
	Projeto	Fabricação	Instalação
Filtro de Tecido	54	100	100
Precip. Eletros.	50	80	95
Lavador	100	100	100
Ciclone	100	100	100

Definido corretamente o sistema a ser adotado (baseado nas exigências de controle), e considerando os custos citados para os aparelhos em questão (os mesmos não fornecendo, para este tipo de indústria, uma taxa de retorno razoável), um outro aspecto deve ser observado. É o de se possuir os adequados fundos disponíveis para a aquisição e a possibilidade de se absorver os posteriores custos operacionais de controle.

Para as grandes empresas isto é alcançado com relativa facilidade, o mesmo não acontecendo com as de menor porte, que normalmente possuem uma posição financeira menos favorável.

Em muitos casos o custo de controle será relativamente mais alto para as indústrias menores, do que para as de maior porte, as quais se beneficiam de economias de escala para a redução de seus custos.

Como o impacto do controle sobre os custos é maior para as pequenas empresas, estas dependerão de sua habilidade na obtenção de recursos para a aquisição dos equipamentos necessários (e dos posteriores custos operacionais) através de financiamentos em entidades oficiais ou particulares, através do aumento dos lucros ou mesmo pelo aumento da produtividade.

Visando fornecer recursos necessários à implantação de sistemas de controle, o Banco de Desenvolvimento do Estado de São Paulo "BADESP", vem mantendo um programa operacional específico para o financiamento de projetos, aquisição e montagem destes equipamentos de controle de poluentes.

Atualmente existe o estudo conjunto entre CETESB, BADESP e Banco Mundial, de uma nova linha de crédito para controle da poluição, a qual deverá propiciar condições de financiamento mais vantajosas, com menores encargos.

- Air Pollution Aspects of the Iron Foundry Industry  
PB 204 712 - fevereiro, 1971.
  
- Particulate Pollutant System Study vol.III - Handbook  
of Emission Properties.  
A.E. Vandegrif - PB 203 522 - maio, 1971
  
- Exhaust Gases from Combustion and Industrial Processes  
PB 204 861 - outubro, 1971
  
- Air Pollution Engineering Manual  
J. Danielson - 2<sup>a</sup> edição - maio, 1973
  
- Control Techniques for Particulate Air Pollutants  
PB 190 253 (AP - 051) - janeiro, 1969
  
- Systems Analysis of Emissions Control in the Iron  
Foundry Industry - vol. II  
A.T. Kearney and Company - fevereiro, 1971
  
- Air and Gas Cleanup Equipment  
Noyes Data Corporation - 2<sup>a</sup> edição, 1972

