



CETESB

GUIA INDUSTRIAL

S I D E R U R G I A

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

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

- CETESB -

CLASS
AUTHOR
TOPIC
036968

B300
E338g (RCET)
036968

GUIA INDUSTRIAL DE SIDERURGIA

COORDENAÇÃO

Eng^o Eduardo A. Licco

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Econ. Luiz Carlos da Costa

Eng^o Homero Carvalho

Eng^o Amélia I.M. Pestelli

Eng^o Maria Celeste J.R. Fontan

COLABORADORES

O presente estudo contou com a colaboração das seguintes entidades e profissionais, que forneceram sugestões, informações ou detalhes técnicos relativos ao setor industrial abordado, os quais foram incorporados a este Guia.

- ✓ Aços Anhanguera S.A. - Eng^o Gerhardus J. Reimerink
Eng^o Romeu Paulo Bolina
Eng^o Silas Fonseca Redondo
- ✗ Faço S.A. - Fábr. de Aços Paulista - Eng^o Roberto G. Rotondaro
- ✗ Cobrasma S.A. - Eng^o Alberto Martinez
- ✗ Aços Villares S.A. - Eng^o Iwan O. von Hertwig
- FEI - Fac. de Engenharia Industrial - Eng^o MS Henrique Perotta Rizzo.

P R E F Á C I O

O presente Guia constitui-se de um resumo de assuntos técnicos referentes à tecnologia de processos industriais e seus reflexos no meio ambiente. Baseia-se em recentes publicações que tratam dos aspectos teóricos de produção e em experiência adquirida na prática pelas equipes técnicas da CETESB.

São apresentados neste estudo, de forma sucinta e objetiva, todos os aspectos referentes à indústria em questão, tratando do posicionamento do setor industrial no contexto econômico atual, das características do processo utilizado, dos transtornos ao meio atmosférico e suas possíveis soluções específicas de ordem teórica e prática.

As informações aqui contidas serão úteis tanto àqueles que estejam se iniciando às técnicas industriais, sob a forma de material didático, quanto àqueles que atuam diretamente com os processos industriais e com os problemas de poluição, tendo neste um objeto de fácil consulta, que os informará de forma precisa e imediata, com a consequente diminuição de tempo gasto em pesquisa e análise de dados.

Este Guia será mantido em constante atualização pela renovação das informações contidas com o devido acompanhamento das inovações tecnológicas introduzidas nos processos citados e pelo desenvolvimento de controles de poluição mais aprimorados. Tal objetivo será atingido contando com a colaboração das indústrias e respectivos órgãos de classe, como também centros de estudos universitários.

Agosto, 1977

São Paulo.

Atualizada em dezembro de 1979

Í N D I C E

	pg.
1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A INDÚSTRIA SIDERURGICA	1
1.1. Aspectos Economicos da Indústria Siderurgica .	1
1.1.1. Matérias Primas	2
1.1.1.1. Ferro	3
1.1.1.2. Carvão	4
1.1.1.3. Calcario e Dolomita	4
1.1.1.4. Sucata de Aço	6
1.1.2. Aspectos Energéticos	6
1.1.3. Produção	8
1.1.4. Consumo	10
1.1.5. Perspectivas do setor	11
2. PROCESSOS DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA SIDERURGICA	16
2.1. Preparação do Minério de Ferro	16
2.1.1. Sinterização	16
2.1.2. Pelotização	17
2.2. Produção de Coque	17
2.3. Produção de Ferro Gusa em Alto Forno	18
2.4. Produção de Aço	19
2.4.1. Forno Reverbero	19
2.4.2. Conversor a Oxigênio	20
2.4.3. Forno Elétrico a Arco	21
2.4.4. Operações de Acabamento	22

3.	CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA PELA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.	25
3.1	Sinterização	25
3.1.1.	Caixas de Vento ("Wind Box")	25
3.1.2.	Descarga da Máquina de Sínter	26
3.1.3.	Manejo de Materiais	26
3.1.4.	Resfriador de Sínter	26
3.2.	Pelotização	27
3.3.	Produção de Coque	27
3.3.1.	Processamento e Movimentação do Carvão e do Coque	28
3.3.2.	Carga dos Fornos	28
3.3.3.	Descarga dos Fornos	28
3.3.4.	Apagamento do Coque	29
3.3.5.	Vazamentos pelas Portas dos Fornos	29
3.4.	Produção de Ferro Gusa em Alto Forno	30
3.4.1.	Carregamento do Alto Forno	31
3.4.2.	Manejo do Gás de Alto Forno	31
3.4.3.	Corrida do Alto Forno	31
3.4.4.	Manejo da Escória	32
3.5.	Processos de Redução Direta	32
3.6.	Forno Siemens-Martin	33
3.7.	Conversores a Oxigênio ,.....	33
3.7.1.	Transferência do Gusa Líquido	33
3.7.2.	Carga e Descarga do Conversor	34
3.7.3.	Injeção de Oxigênio ,.....	34
3.8.	Forno Elétrico a Arco	35
3.8.1.	Carregamento	35
3.8.2.	Fusão e Refino	36
3.8.3.	Vazamento	37

3.9.	Operações de Acabamento	37
3.9.1.	Fornos de Espera ou Reaquecimento	37
3.9.2.	Escarfagem	37
3.9.3.	Decapagem	38
3.9.4.	Galvanização por Imersão a Quente	38
4.	AMOSTRAGEM EM CHAMINÉS DE FORNOS SIDERÚRGICOS	42
4.1	Amostragem em Forno Elétrico a Arco - Produção de aço	42
4.2.	Amostragem em Conversor L.D. - Produção de Aço	43
4.3.	Amostragem em Forno Siemens - Martin - Produção de Aço	44
5.	CONTROLE DOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	46
5.1.	Plantas de Sinterização	46
5.1.1.	Caixa de Vento ("Wind Box")	46
5.1.2.	Descarga da Máquina de Sinter	47
5.1.3.	Manejo de Materiais	48
5.1.4.	Resfriador de Sinter	48
5.2.	Produção de Coque	48
5.2.1.	Beneficiamento e Manejo do Carvão e do Coque	48
5.2.2.	Carregamento dos Fornos	49
5.2.3.	Descarga dos Fornos	50
5.2.4.	Apagamento do Coque	53
5.2.5.	Vazamentos pelas Portas dos Fornos	53



5.3.	Alto Forno	53
5.3.1.	Manejo do Gás de Alto Forno	53
5.3.2.	Corrida	54
5.3.3.	Manejo da Escória	54
5.4.	Forno Siemens-Martin	54
5.5.	Conversor a Oxigênio	56
5.5.1.	Transferência do Gusa Líquido	56
5.5.2.	Carga e Descarga do Conversor	57
5.5.3.	Injeção de Oxigênio	57
5.6.	Forno Elétrico a Arco	59
5.6.1.	Exaustão das Emissões Produzidas pela Fusão e Refino	59
5.6.1.1.	Captação envolvente na abóboda da	60
5.6.1.2.	Captação por tiragem lateral	61
5.6.1.3.	Exaustão direta pela abóboda (4º furo)	61
5.6.2.	Controle das Emissões do Carregamento	64
5.6.2.1.	Captação por coifas suspensas	64
5.6.2.2.	Captação por trocas do ar ambiente da fábrica	67
5.6.2.3.	Enclausuramento dos fornos	69
5.6.2.4.	Captação empregando captadores especiais	72
5.6.2.5.	Emprego de sucata limpa	73
5.6.2.6.	Préaquecimento e desengraxamento da sucata	73
5.6.2.7.	Compactação da sucata	75
5.6.2.8.	Caçamba de carga dotada de captor	75

5.6.3. Controle das Emissões do Vazamento	76
5.6.3.1. Enclausuramento do poço de vazamento	76
5.6.3.2. Emprego de captores	78
5.6.4. Equipamentos de Controle de Poluentes .	78
5.7. Operações de Acabamento	80
5.7.1. Laminadores a Frio	80
5.7.2. Fornos de Espera ou Reaquecimento	81
5.7.3. Escarfagem	81
5.7.4. Decapagem	81
5.7.5. Galvanização por Imersão a Quente	82

ANEXO A - FORNOS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DE FERRO E AÇO.	83
A.1. Alto Forno	83
A.1.1. Características de um Alto Forno	86
A.1.2. Detalhes Construtivos	87
A.1.2.1. Cadinho	87
A.1.2.2. Furo de Corrida	89
A.1.2.3. Furo de Corrida da Escória ...	89
A.1.2.4. Ventaneiras	89
A.1.2.5. Anel de Vento.....	92
A.1.2.6. Rampa	92
A.1.3. Regeneradores ou Cowpers	92
A.2. Forno Revêrbero	96
A.2.1. Combustíveis Utilizados	97
A.2.2. Utilização do Oxigênio	97
A.2.3. Sequência de Reações	99
A.3. Fornos Elétricos a Arco	
A.3.1. Tipos de Fornos a Arco	101
A.3.1.1. Forno a Arco Indireto	101
A.3.1.2. Forno a Arco com Aquecimento por Resistência	103
A.3.1.3. Forno a Arco Direto	103
A.4. Conversores	103
A.4.1. Físico-Química do Processo	103
A.4.2. Conversor a Oxigênio	105
A.5. Máquina de Sinterização Contínua "Dwight - Lloyd" com Tiragem Descendente	108

A.6.	Fornos de Pelotização	110
A.7.	Coquerias	114

ANEXO B - EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUENTES

B.1.	Coletores Centrifugos Secos - Ciclones	118
B.1.1.	Características dos Ciclones	118
B.1.2.	Tipos de Coletores Centrifugos	119
B.1.2.1.	Dimensionamento de Ciclones...	123
B.1.3.	Estimativa da Eficiência de Coleta para Ciclones	124
B.1.4.	Estimativa da Perda de Carga em Ciclo- nes	126
B.1.5.	Custo de Operação para Ciclones	126
B.2.	Depurador Úmido	129
B.2.1.	Classificação dos Depuradores Úmidos ..	129
B.2.2.	Seleção de Materiais de Construção	131
B.2.3.	Eficiência de Coleta para Depuradores Úmidos	143
B.2.4.	Tópicos sobre a Manutenção de Depurado- res Úmidos	145
B.2.5.	Custo de Operação para Depuradores Úmi- dos	146
B.3.	Filtros de Tecido	
B.3.1.	Mecanismos de Filtração	149
B.3.2.	Variáveis Intervenientes na Eficiência de Filtração	149
B.3.2.1.	Limpeza de Filtros	149
B.3.2.2.	Velocidades de Filtragem	152
B.3.2.3.	Perda de Carga	154
B.3.2.4.	Materiais Filtrantes.....	154

B.3.3.	Dimensionamento de Filtros	157
B.3.3.1.	Dimensão das Mangas	157
B.3.4.	Procedimentos para o diagnóstico e correção de defeitos operacionais em filtros de tecido	157
B.3.5.	Custo de Operação	162
B.4.	Precipitadores Eletrostáticos	165
B.4.1.	Princípio de Funcionamento	165
B.4.2.	Classificação	165
B.4.3.	Características do Material a ser coletado	166
B.4.3.1.	Partículas de Baixa Resistividade	166
B.4.3.2.	Partículas de Alta Resistividade	166
B.4.3.3.	Partículas de Resistividade Intermediária	166
B.4.3.4.	Condicionamento das Partículas	169
B.4.3.5.	Influência da Temperatura e Umidade na Resistividade	169
B.4.4.	Remoção do Pó dos Eletrodos de Coleta	169
B.4.5.	Eficiência de Coleta	171
B.4.6.	Perda de Carga	171
B.4.7.	Seleção Prática de uma Precipitador ...	171
B.4.8.	Problemas de Operação	172
B.4.9.	Vantagens e Desvantagens	174
B.4.10.	Aplicações	175
B.4.11.	Defeitos mais comuns em Precipitadores Eletrostáticos	175

B.4.11.1	Quebra dos Eletrodos de des- carga	176
B.4.11.2	Tremonhas Coletoras e Remo- ção do Pó	177
B.4.11.3	Batedores ou Vibradores de Limpeza	177
B.4.11.4	Falhas no Isolador e no su- porte de Eletrodos	178
B.4.12	Custo de Operação	178
B.4.13	Problemas de Operação e Manutenção Es- pecíficos da Aplicação de Precipitado- res Eletrostáticos a Processos Siderúr- gicos	180
ANEXO C - CUSTOS DE CONTROLE		
C.1.	Introdução	183
C.2.	Equipamentos para controle de Material Parti- culado	183
C.3.	Custos dos Equipamentos de Controle	185
C.4.	Custo Anualizado	189
C.5.	Considerações Gerais	194
REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIAS		197

ÍNDICE DE FIGURAS

	pg.
FIGURA 1 - Fluxograma da produção de aço	24
FIGURA 2 - Sistema de depuração úmida instalado no carro carregador de carvão	52
FIGURA 3 - Sistema captor duto-fixo para controle das emissões das descarga dos fornos da coqueria	52
FIGURA 4 - Enclausuramento do lado da descarga do coque	52
FIGURA 5 - Sistema de controle de poluentes em torres de apagamento	52
FIGURA 6 - Captação envolvente na abóboda	62
FIGURA 7 - Captação por tiragem lateral	62
FIGURA 8 - Exaustão direta pela abóboda (4º furo) ..	62
FIGURA 9 - Controle da operação de fornos elétricos a arco mediante sistema combinado de <u>coi</u> fas suspensas e exaustão pela abóboda do forno (4º furo)	68
FIGURA 10 - Sistema de captação das emissões do carregamento/vazamento através da troca do ar ambiente da fábrica	68
FIGURA 11 - Esquema para enclausuramento de fornos elétricos a arco	71
FIGURA 12 - Captor anelar especial para captura dos fumos do carregamento	74
FIGURA 13 - Enclausuramento da caçamba de carga	74
FIGURA 14 - Sistema para controle das emissões do carregamento	77
FIGURA 15 - Controle das emissões de vazamento através do enclausuramento do poço de vazamento	77

FIGURA	16 - Enclausuramento da panela de fundição ...	79
FIGURA	17 - Emprego de captadores móveis para o controle das emissões do vazamento	79
FIGURA	A.1 - Corte esquemático de um alto forno, sistema americano	88
FIGURA	A.2 - Disposição de um alto forno de grande capacidade, vendo-se a esquerda as ligações de ar para os regeneradores e a direita os canais de corrida de gusa e de escória	91
FIGURA	A.3 - Regenerador de Alto Forno	94
FIGURA	A.4 - Vistas em corte de um forno Siemens Martin	98
FIGURA	A.5 - Esquema de forno elétrico a arco	102
FIGURA	A.6 - Arranjo esquemático de um conversor a oxigênio	106
FIGURA	A.7 - Representação das diversas etapas processo Bessemer	107
FIGURA	A.8 - Máquina de sinterização contínua "Dwight - Lloyd" com tiragem descendente.	109
FIGURA	A.9 - Seções de um forno vertical para pelotização	111
FIGURA	A.10 - Instalação de pelotização, sistema grelha-forno rotativo	113
FIGURA	A.11 - Esquema da máquina de pelotizar, sistema "Dwight-Lloyd"	113
FIGURA	A.12 - Vista de uma coqueria	117
FIGURA	B.1 - Ciclone de entrada envolvente	121
FIGURA	B.2 - Ciclones e Multiciclone	122

FIGURA	B.3 - Eficiência do ciclone versus razão do tamanho da partícula	125
FIGURA	B.4 - Depurador úmido do tipo torre de sprays .	132
FIGURA	B.5 - Depurador úmido do tipo torre com pratos de impactação	133
FIGURA	B.6 - Depurador úmido do tipo torre com pratos de impactação	134
FIGURA	B.7 - Depurador úmido do tipo ciclônico	135
FIGURA	B.8 - Depurador úmido do tipo ciclônico	136
FIGURA	B.9 - Depurador úmido do tipo ciclônico com 2 estágios	137
FIGURA	B.10 - Depurador úmido do tipo torre com enchimento	138
FIGURA	B.11 - Depurador úmido tipo venturi com eliminador de gotas	139
FIGURA	B.12 - Depurador úmido do tipo ejetor	140
FIGURA	B.13 - Depurador úmido do tipo orifício	141
FIGURA	B.14 - Eliminador de névoas	142
FIGURA	B.15 - Filtro de tecido	150
FIGURA	B.16 - Filtro de tecido com sistema de limpeza do tipo jato pulsante	151
FIGURA	B.17 - Precipitador eletrostático de eletrodos tubulares	167
FIGURA	B.18 - Precipitador eletrostáticos de placas planas	168
FIGURA	B.19 - Resistividade superficial de fumos de chumbo	170
FIGURA	C.1.- Variação do custo para aquisição de ciclones	186



FIGURA	C.2 - Variação do custo para aquisição de depuradores úmidos	187
FIGURA	C.3 - Variação do custo para aquisição de filtros de tecido	188
FIGURA	C.4 - Variação do custo anualizado - ciclones ..	191
FIGURA	C.5 - Variação do custo anualizado - depurador úmido	192
FIGURA	C.6 - Variação do custo anualizado - filtro de tecido	193

ÍNDICE DE TABELAS

		pg.
TABELA	1 - Consumo de minério de ferro	3
TABELA	2 - Consumo de carvão mineral coqueificável	5
TABELA	3 - Consumo de calcário e dolomita	5
TABELA	4 - Consumo de sucata de aço e ferro	6
TABELA	5 - Consumo de energia pelo setor siderúrgico ..	7
TABELA	6 - Produção mundial de aço	9
TABELA	7 - Evolução do consumo aparente de produtos si derúrgicos	12
TABELA	8 - Projeção oferta e demanda de produtos side rúrgicos	14
TABELA	9 - Fontes potenciais de emissão de particulados na indústria de ferro e aço	39
TABELA	10 - Fatores de emissão para produção de ferro e aço	41
TABELA	11 - Resultados da amostragem em forno elétrico a arco - Produção de aço	43
TABELA	12 - Resultados da amostragem em conversor L.D.- Produção de aço	44
TABELA	13 - Resultado da amostragem em forno Siemens Mar tin - Produção de aço	45
TABELA B.1	- Configurações padronizadas de ciclones como uma função do diâmetro do corpo cilíndrico , segundo os autores	120
TABELA B.2	- Unidade de transferência em depuradores úni dos e eficiência de coleta	144
TABELA B.3	- Parâmetros de correlação para eficiência de depuradores úmidos.....	144
TABELA B.4	- Velocidades de filtração recomendadas para	

	pg.
vários tipos de material particulado e métodos de limpeza das mangas	153
TABELA B.5 - Propriedades dos tecidos dos filtros	155
TABELA B.6 - Valores típicos do parâmetro de precipitação	173
TABELA B.7 - Valores típicos de algumas variáveis de projeto usadas na prática comercial de precipitador	174
TABELA B.8 - Consumo energético de precipitadores eletrotáticos como função da eficiência de coleta e da característica do precipitador	179
TABELA C.1 - Prazos de projetos, fabricação e instalação de sistemas de controle	195
TABELA C.2 - Índices de nacionalização.....	195

1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A
INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

1.1. ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Temos como primeira citação de indústria Siderúrgica no Brasil a de "uma pequena fábrica de ferro" no sítio de Ubatã, próxima do Rio Jurubatuba - Santo Amaro, São Paulo, em 1587. Esta operava então, em forno do tipo Catalão de Refino, utilizando o minério encontrado em locais próximos, argiloso e de 35 a 40% de ferro e carvão proveniente das matas que cobriam a região.

Um detalhe a ser ressaltado sobre a fábrica citada era a sua localização. Situava-se próxima ao Rio Jurubatuba onde o combustível podia ser facilmente transportado, a mina era próxima e os produtos acabados, descendo o Rio, atingiam o mercado de Santos ou, subindo a "estrada antiga", chegavam aos mercados das vilas acima da Serra de Cubatão.

Em 1590, foram instalados "dois fornos para a produção de ferro e aço" no Morro de Biraçoiaba - Sorocaba.

Esta fábrica muito embora não possuísse as mesmas condições de transporte que a de Ubatã, o teor metálico do minério, superior ao de Ubatã, justificava a sua localização.

A localização sempre foi determinante para a indústria siderúrgica como fator de aproveitamento das condições técnicas e econômicas de utilização das matérias primas e distribuição da produção ao mercado consumidor.

Todo o desenvolvimento da siderurgia de um país baseia-se em suas reservas de minério de ferro e carvão - suas principais matérias primas, logo sua evolução acompanha as explorações mineralógicas, com raras exceções, sendo o Japão um exemplo.

Nos primeiros estágios do desenvolvimento das técnicas da siderurgia, o ferro era obtido diretamente do minério pela queima do carvão vegetal, o qual fornecia tanto o calor necessário às operações como operava como redutor.

Uma das técnicas mais utilizadas na produção do ferro até o século XV era a forja ou forno catalão (o mesmo tipo utilizado no Brasil).

Até o final do século XIX o processo de produção de aço predominante era o de cadinho, o qual apresentava um elevado consumo de combustível (4t de carvão por tonelada de aço produzido). Neste período, os processos siderúrgicos obtiveram na Europa um grande desenvolvimento, em virtude da introdução de diferentes técnicas de fabricação maciça, surgiram então o conversor Bessemer, o forno Siemens-Martin e os primeiros fornos elétricos a arco.

Somente entre 1917 e 1930 é que são introduzidas no Brasil usinas com processos e escalas de produção de características modernas, sendo criada a Cia. Siderúrgica Brasileira com um alto forno, e que posteriormente transformar-se-ia na Siderúrgica Belgo-Mineira instalando um forno Siemens-Martin.

Em 1937, é construída a Usina de Monlevade pertencente a Siderúrgica Belgo-Mineira com uma capacidade inicial de 50.000 t/ano.

Até o período citado existiam 11 empresas no Brasil operando à carvão vegetal, em 1946 passa a funcionar a primeira usina de aço integrada, a Cia. Siderúrgica Nacional em Volta Redonda, produzindo gusa em alto forno a coque.

A seguir, para atender a evolução industrial, outras usinas foram sendo construídas atingindo, na década de 70, o total de 22 empresas em funcionamento.

1.1.1. MATÉRIAS PRIMAS

Nas matérias primas e outros elementos indispensáveis à elaboração do gusa e do aço, predominam os recursos de origem mineral.

Na elaboração de uma tonelada de laminados de aço, por exemplo, os insumos médios desses recursos são os seguintes, considerando uma usina integrada que use o coque como reductor:

	Quantidade	
	kg	%
Minério de ferro, manganês e sinter	1.402	37,5
Carvão mineral	964	25,8
Fundentes (calcáreo e dolomita)	502	13,4
Sucata	367	9,8
Combustível	209	5,6
Outros recursos	295	7,9
Total	3.739	100,0

1.1.1.1. FERRO

A matéria prima básica da indústria siderúrgica é o minério de ferro. Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de minério de ferro, o que facilita o desenvolvimento do setor siderúrgico interno.

As maiores jazidas de minério de ferro estão localizadas em Minas Gerais, na região do Quadrilátero Ferrífero, que fornece a grande parte dos minérios ao mercado nacional e à exportação. Além de Minas Gerais, existem reservas do minério no Pará e Mato Grosso, em volume considerável, que permitirão aumentos significativos na produção brasileira.

A tabela 1 dá uma idéia do consumo de minério de ferro pela indústria siderúrgica e o volume exportado.

TABELA 1 - Consumo de Minério de Ferro (10³t)

Anos	Exportação Brasileira	CONSUMO INTERNO		
		Setor Siderúrgico	Fabricantes Independentes	Total
1 972	30.512	5.950	1.478	7.428
1 973	44.963	6.326	1.643	7.969
1 974	59.439	6.757	2.246	9.003
1 975	67.262	8.618	2.759	15.377
1 976	67.138	9.421	3.438	12.859
1 977	58.751	11.929	3.009	14.938
1 978	66.371	12.833	3.142	15.975

FONTE.: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS

Carteira de Comércio Exterior do Bco. do Brasil-CACEX

Em 1978, assim como em anos anteriores, a maior parte do minério de ferro produzido no Brasil foi exportado.

O setor siderúrgico foi responsável por 80,3% do consumo interno.

1.1.1.2. CARVÃO

O carvão é importante para a indústria siderúrgica, pois constitui-se em elemento primordial para a redução e aquecimento do minério de ferro.

Até 1946, a siderurgia brasileira valeu-se exclusivamente do carvão vegetal para a redução do minério de ferro, sendo este considerado um dos melhores redutores.

O carvão mineral é assim denominado por se encontrar geralmente em jazidas subterrâneas, embora sua origem seja orgânica, como o carvão vegetal, provindo da decomposição ou fossilização de enormes quantidades de vegetais soterrados há milênios.

Seus principais tipos são o carvão betuminoso, o lihnito e o antracito. Na região sul do Brasil é que se encontram as reservas de carvão que efetivamente interessam à siderurgia, apesar de que, a qualidade é, de modo geral, do tipo inferior ao importado.

O carvão metalúrgico brasileiro, coqueificável, existe em pequenas quantidades em Santa Catarina e os esforços para a descoberta de novas jazidas desse minério na própria região sul e em outras, ainda não conduziram a uma real probabilidade de se conseguir um carvão de melhor qualidade.

O consumo de carvão coqueificável é visto na Tabela 2.

1.1.1.3. CALCÁREO E DOLOMITA

O calcáreo e a dolomita são denominados fundentes, que permitem formar escórias fluídas à base de silicatos de cálcio e magnésio, as quais fixam as impurezas, provenientes principalmente do minério de ferro.

TABELA 2 - Consumo de Carvão Mineral Coqueificável (t)

Anos	Carvão Mineral Coqueificável				Total
	Nacional	%	Importado	%	
1 972	765.200	33	1.550.063	67	2.315.263
1 973	785.869	32	1.713.966	68	2.499.835
1 974	877.468	37	1.531.302	63	2.408.770
1 975	770.610	26	2.232.507	74	3.003.117
1 976	830.844	22	3.006.005	78	3.836.849
1 977	1.017.502	22	3.579.716	78	4.597.218
1 978	972.543	22	3.452.823	78	4.425.366

FONTE.: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS

A dolomita, afora sua utilização como material de revestimento das aciarias LD, é usada nas soleiras dos fornos Siemens-Martin.

No Brasil, os depósitos de calcáreo - dolomita ocorrem principalmente nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná.

A siderurgia apresentou o seguinte consumo destes fundentes:

TABELA 3 - Consumo de Calcáreo e Dolomita (t)

Anos	Setor Siderúrgico	
	Calcáreo	Dolomita
1 972	800.730	287.011
1 973	902.126	281.954
1 974	1.102.548	344.078
1 975	1.661.946	337.665
1 976	1.493.337	418.494
1 977	2.155.581	431.892
1 978	2.414.667	507.180

FONTE.: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS

1.1.1.4. SUCATA DE AÇO

A sucata é composta de refugos metálicos das próprias usinas siderúrgicas e do desuso de produtos fabricados com ferro e aço.

Classifica-se a sucata, segundo a origem, em:

1 - Sucata de circulação, que se origina do processo de fabricação do aço e de sua posterior laminação nas usinas siderúrgicas.

2 - Sucata de transformação, resultante dos processos de industrialização, tais como o de fabricação de estruturas e de estampos profundos.

3 - Sucata de recuperação, formada de resíduos de navios, veículos, equipamentos, tubulações, etc.

Pela tabela IV pode-se ver o consumo atual de sucata de aço e ferro, em que a geração interna nas indústrias se equivale à adquirida no mercado interno.

TABELA 4 - Consumo de Sucata de Aço e Ferro (t)

Anos	Setor Siderúrgico			Import.	Export.
	Geração Interna	Aquisição / Mercado Interno	Consumo		
1 972	1.414.895	1.292.752	2.701.943	-	24
1 973	1.625.817	1.657.572	3.206.850	5.076	-
1 974	1.557.836	2.103.085	3.609.510	37.306	-
1 975	1.787.902	1.880.297	3.665.063	17.587	-
1 976	2.155.638	2.061.539	4.213.140	2	-
1 977	2.363.035	2.208.128	4.576.254	-	-
1 978	2.655.516	2.621.220	5.261.587	29	-

FONTE.: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS

1.1.2. ASPECTOS ENERGÉTICOS

As principais fontes energéticas da siderurgia são o carvão mineral ou vegetal, óleo combustível, energia elétrica

ca e gás natural ou do carvão (gás de coqueria).

Em 1977, mais de 50% da estrutura produtiva do aço era dependente do carvão metalúrgico importado, significando, nesse aspecto, uma grande dependência externa.

As usinas de coque representam a totalidade dos fabricantes de produtos planos, trilhos e perfis pesados, sua concepção, no início da década de 70, resultou de uma combinação das tendências tecnológicas de então, aliados ao baixo custo e excesso de oferta do carvão de qualidade. Este modelo exige para uma operação eficaz, o uso do carvão mineral de qualidade, ainda não disponível no país.

As usinas a carvão vegetal e sucata representam a quase totalidade dos fabricantes de produtos não-planos leves.

Pela tabela 5 visualiza-se a relação entre o consumo do carvão nacional e importado.

TABELA 5 - Consumo de Energia pelo Setor Siderúrgico (1000 t)

PRODUTOS	PERÍODOS						
	1 972	1 973	1 974	1 975	1 976	1 977	1 978
Carvão mineral nacional	765,2	785,9	877,5	770,6	830,8	1.017,5	972,5
Carvão mineral importado	1.550,0	1.714,0	1.531,3	2.232,5	3.006,0	3.579,7	3.452,8
Carvão vegetal	5.591,3	5.802,0	5.998,4	7.001,5	6.143,3	6.785,1	6.332,6
Óleo Combustível	829,4	1.010,9	1.062,8	1.039,1	1.034,9	1.203,3	1.172,2
Energia elétrica	3.086,2	3.171,7	4.268,1	4.690,3	5.674,2	6.320,9	6.873,5
Gás Próprio	6.349,4	7.691,5	9.269,4	12.197,8	13.186,0

FONTE.: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS

Em 1972, aproximadamente 50% do total de carvão mineral consumido pelo setor siderúrgico era de origem nacional. Nos anos seguintes essa percentagem decresceu, registrando nos três últimos anos um volume de 28%.

O setor siderúrgico é um dos setores industriais que mais intensamente consomem energia em todo o mundo, sendo

então natural que a crise mundial elevasse a incidência do custo de energia no produto siderúrgico. Em nosso país, atualmente, atinge cerca de 40% do produto total.

Como grande parte da energia consumida na siderurgia é importada, esta absorve grande quantidade de divisas e restringe a formação de capital nacional.

Em vista disso, várias empresas já estão implantando programas que assegurem economia de energia nas usinas e proporcionem maior utilização de fontes de energia nacionais, em substituição da energia importada.

1.1.3. PRODUÇÃO

A produção mundial registrou altos índices de crescimento a partir da 2ª Guerra Mundial, entre 1946 e 1955 o acréscimo da produção foi de 142% ou uma taxa média anual de 14%, para no período subsequente de 1955 a 1964 reduzir esse ritmo, registrando um acréscimo de 54%, com uma taxa anual aproximada de 6%.

Os valores absolutos a que atingiu a produção mundial de aço bruto, nos períodos foram os seguintes:

1946	110 milhões de toneladas
1955	266 milhões de toneladas
1964	418 milhões de toneladas

Em 1977 a produção mundial de aço foi de 672,4 milhões de toneladas e em 1978, 712,0 milhões de toneladas, registrando uma evolução no período de 5,9%.

O Brasil neste período apresentou crescimento de 8,0%, produzindo 11,2 milhões de toneladas em 1977 e 12,1 milhões de toneladas em 1978, sendo a contribuição brasileira, no total mundial produzido, nos dois períodos respectivos de 1,6% e de 1,7%.

Na tabela 6, vemos as variações na produção mundial em 1977 e 1978.

Em relação à América Latina, em 1978 o Brasil foi o maior produtor, com cerca de 50,5% do aço produzido, seguido pelo México com 6.741,0 mil toneladas, representando 28,1% da

TABELA 6 - Produção Mundial de Aço - milhões de toneladas.

PAÍSES	PERÍODO		VARIÇÃO %
	1 977	1 978	
URSS	146,6	151,0	3,0
EUA	113,2	123,7	9,3
Japão	102,4	102,1	-
Alem. Ocid.	39,0	41,2	5,6
China	23,4	31,0	32,4
Itália	23,3	24,3	4,2
França	22,1	22,8	3,2
Reino Unido	20,5	20,3	-
Polônia	17,7	19,5	10,2
Tchecoslováquia	15,1	15,4	2,0
Canadá	13,6	14,9	9,5
Bélgica	11,3	12,6	11,5
Espanha	11,2	11,3	-
Romênia	11,5	11,6	-
Brasil	11,2	12,1	8,0
Outros	90,3	98,2	8,7
TOTAL	672,4	712,0	5,9

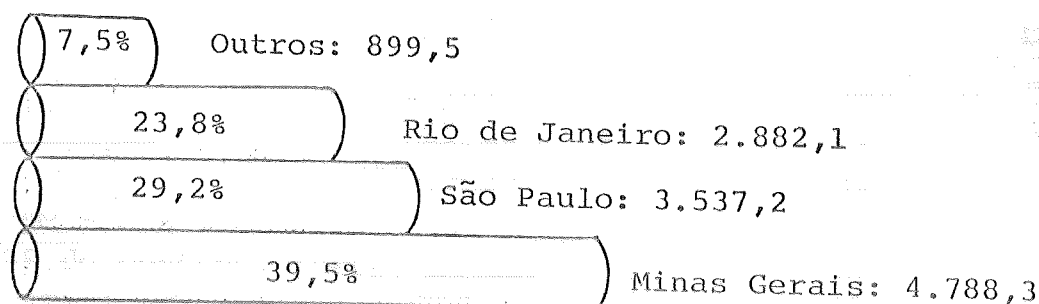
FONTE: . International Iron and Steel Institute - IISI

produção e a Argentina com 2.818,6 mil toneladas, representando 11,7% do total.

Quanto à distribuição regional da produção, destaca-se o Estado de Minas Gerais, com 4.788,3 mil toneladas produzidas, ou seja, 39,5% do total brasileiro, demonstrando a concentração das indústrias próximas às grandes jazidas de minério de ferro existentes.

O gráfico a seguir dá uma visão da participação de Minas Gerais em relação aos demais estados.

GRÁFICO 1 - Participação dos estados na produção de aço em 1978 (1.000 t).



A tecnologia de produção de aço no Brasil pode ser dividida em dois tipos baseados nos fins a que se destinam:

- Unidades de grande porte, utilizando carvão mineral, que devido a necessária economia de escala, compreendem as grandes unidades de alto forno, de aciaria LD e de laminação. Existem 3 usinas deste porte - CSN, USIMINAS e COSIPA, todas com capacidades previstas finais acima de 3 milhões de t/ano, destinam-se a produção de aços planos e perfis pesados.

- Unidades de pequeno porte e médio porte utilizando sucata (ou ferro esponja), usando fornos elétricos ou unidades utilizando carvão vegetal, com pequenos conversores a oxigênio, destinam-se à produção de aços não planos e aços especiais.

A participação dos processos na produção de aço em 1978 foi, 13,3% para os fornos Siemens-Martin, 62,2% para os conversores LD, 0,1% para o processo Bessemer e 24,4% para os elétricos.

1.1.4. CONSUMO

O consumo brasileiro de aço pode ser dividido em duas fases até 1962, quando as exportações desse produto começaram a ter alguma significação, de acordo com o relatório sobre siderurgia brasileira elaborado pela CEPAL, 1964.

A primeira fase, compreendendo 1925/1942, dependeu quase que exclusivamente das importações, muito embora

houvesse um crescimento na produção interna, esta não alcança suficiente significação.

Na segunda fase, de 1 942 a 1 962 a produção já tem relativa importância, não apenas pelo crescimento contínuo, mas também pela diminuição das importações do produto.

De 1 942 a 1 947, a produção já representava 38,9% do consumo interno, de 1 954 a 1 962 a produção participava com 81,9% do consumo, porém, no período, o crescimento lento da produção e a diminuição das importações ocasionaram uma menor taxa de crescimento de consumo (de 10,5 para 5,5%).

O consumo aparente de produtos siderúrgicos, em 1 978, foi da ordem de 12,1 milhões de toneladas, em aço equivalente, sendo que a produção interna, em volume, supriu integralmente a demanda interna.

Considerando o período de 1 972/1 978, como um todo, nota-se um crescimento no consumo aparente global em torno de 61%, muito embora o período de 1 974 tenha sido o de maior volume.

A tabela 7 mostra o consumo aparente de aço para o período de 1 972 a 1 978.

Embora, apresentasse um crescimento de tal ordem, a demanda per capita de produtos siderúrgicos vem apresentando desníveis regionais acentuados, e um baixo índice global de consumo, sendo objeto de preocupação governamental, quanto a estratégia industrial, expressa no II PND, visando a atenuação das diferenças existentes.

O consumo per capita no Brasil passou de 60,0 kg/hab em 1 970 para 114,0 kg/hab em 1 978, representando um crescimento médio anual do consumo per capita de 8,4%.

1.1.5. PERSPECTIVAS DO SETOR

Considerando as tendências evolutivas do mercado brasileiro de produtos siderúrgicos, o desenvolvimento do setor vem sendo objeto de programas governamentais, cujas metas e perspectivas vem sendo corrigidas de acordo com as alterações conjunturais da economia.

TABELA 7 - Evolução do Consumo Aparente de Produtos Siderúrgicos - unidade 10^3 t.

Produtos	PERÍODO						
	1 972	1 973	1 974	1 975	1 976	^A 1 977	^A 1 978
Laminados planos	2.773,1	3.693,8	5.541,0	4.571,0	4.239,1	5.026,0	5.278,5
Laminados não planos	2.836,1	3.372,5	4.300,9	4.198,0	4.069,6	4.019,7	4.339,1
Total de laminados	5.609,2	7.066,3	9.841,9	8.769,0	8.308,7	9.045,7	9.617,6
Aço equivalente	7.497,0	9.090,0	12.741,0	11.644,0	10.578,0	^B 11.828,9	^B 12.091,3

FONTE.: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS

"A" - Ministério da Indústria e Comércio - CONSIDER

"B" - Estimativa

Um estudo que vem sendo feito neste sentido, desde 1977, é o Plano Mestre de Siderurgia, coordenado pelo CONSIDER, que tem como objetivo alcançar a autosuficiência do país nesse setor por volta do período 1 981/1 982.

O plano inclui estudos de mercados, aspectos energéticos, estruturas de produção, avaliação de investimentos, equipamentos necessários e recursos financeiros.

No plano elaborado em 1977, a estrutura de produção foi delineada em duas fases. Na primeira fase, que compreende o período de 1 977 a 1983, foi prevista a expansão da capacidade produtiva basicamente nas linhas de planos (chapas grossas e laminados a quente). Na segunda fase, foi prevista a expansão em laminados planos, trilhos e perfis médios e pesados.

Para desenvolvimento do setor foram previstos: apoio preferencial ao sistema de coleta e beneficiamento de sucata, constituído por grande número de empresas privadas nacionais, a fim de se obter uma situação equilibrada entre oferta e demanda no próximo decênio; crescimento potencial de produção de aço à base de carvão vegetal, incentivada pela permissão às empresas de obterem recursos para reflorestamento, do Fundo

de Investimento Setorial - FISET; estudo de uma tarifa preferencial de energia elétrica, pelo Ministério das Minas e Energia, para fornos elétricos de redução, os quais consomem cerca de 30% menos de carvão vegetal do que o alto forno; e implantação de projetos conjugando o forno elétrico de redução com unidade de redução direta, para ampliar o uso do carvão vegetal.

Estava também previsto no Plano Mestre, em 1977, o vínculo da concessão de financiamento do BNDE para o desenvolvimento do setor de bens de capital aos índices de nacionalização dos equipamentos, sendo exigidos níveis superiores a 50 - 70%. O mesmo aconteceu ao FINAME, cujas taxas de juros variam de acordo com o grau de nacionalização.

Alguns destes projetos foram citados no programa de trabalho elaborado pelo CONSIDER para execução em 1979.

Na atualização do Plano Mestre de Siderurgia, realizada em Setembro de 1978, o comportamento da demanda de produtos siderúrgicos foi projetado para o período 1979/88, tendo como base o ano de 1977. As previsões mais conservadoras, indicavam para o ano de 1985 um consumo per capita da ordem de 175,0 kg/hab, que comparado ao de 1978, representa um crescimento médio anual de 6,3%.

A partir desses dados, novos investimentos foram programados para expansão do setor, com o intuito de elevar a capacidade produtiva para cerca de 33 milhões de toneladas em 1988.

Quando da elaboração das projeções de produção e consumo, algumas considerações foram efetuadas pelo CONSIDER, em 1978, e são citadas a seguir:

- No setor de não planos foi prevista uma adição necessária de 600.000 t de capacidade em 1985.

- O setor de planos que é atendido pela CSN, USIMINAS e COSIPA terá a expansão de sua produção terminada até 1982, quando estas empresas passarão a ter capacidade de 2,5, 2,4 e 2,3 milhões de toneladas respectivamente. Além disso a SIDERBRÁS deverá implantar a AÇOMINAS até o 2º semestre de 1980.

- Os investimentos previstos para o período 1978/87

deverão somar US\$ 25,4 bilhões, dos quais US\$ 10 bilhões estão destinados aos projetos acima citados e o restante a outras expansões previstas até 1.987.

- Os recursos para o setor serão oriundos de incentivos fiscais, aporte de capital via dotação orçamentária e financiamentos especiais através de fundo siderúrgico por dotação orçamentária.

- Outro aspecto ressaltado no programa de expansão siderúrgica são os estímulos previstos para o desenvolvimento da indústria nacional de bens de capital visando não só aumentar os índices de nacionalização dos equipamentos como também o desenvolvimento de tecnologia nacional.

Está previsto para o período 1 978/87 uma média de aquisição de bens de capital da indústria nacional de aproximadamente US\$ 800 milhões por ano.

A projeção da oferta e demanda de produtos siderúrgicos, constante dos estudos citados, considerando todos os programas citados anteriormente, pode ser vista na tabela 8.

TABELA 8 - Projeção da Oferta e Demanda de Produtos Siderúrgicos - 1 979/88 (10³t)

ANOS	OFERTA DE PROD. SIDERÚRGICOS	DEMANDA DE PROD. SIDERÚRGICOS
1 979	14.022	13.520
1 980	14.661	14.547
1 981	15.926	16.085
1 982	19.638	17.748
1 983	23.884	19.674
1 984	25.474	21.737
1 985	28.276	23.988
1 986	29.685	26.480
1 987	31.277	29.427
1 988	33.718	32.510

FONTE: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS

Neste plano também são considerados fatores como o energético, onde são traçadas algumas linhas de ação, visando

assegurar o suprimento energético do setor siderúrgico do país através da diversificação das fontes externas de suprimento do carvão coqueificável; maximização do uso das fontes internas de energia e pesquisas tecnológicas visando aumentá-las e diversificar sua utilização.

Atualmente, outros estudos estão sendo feitos para implantação de um programa de redução do consumo de energia pela indústria siderúrgica que se baseia nos seguintes aspectos: (1) aprimoramento de padrões operacionais, como por exemplo: aproveitamento da capacidade total de lingotamento contínuo, emprego de mistura mais adequada do sinter nos alto-fornos, aproveitamento do óleo usado, etc.; (2) melhoria de equipamento e de processo, como por exemplo: armazenamento das sobras de oxigênio, extinção a seco do coque, instalação de "lay-outs" que possibilitem maior economicidade, etc.

Outro fato que deve ser mencionado, é a atual preocupação das indústrias siderúrgicas quanto ao controle da poluição industrial.

Está previsto para a década de 80, a instalação de novas usinas e expansão das existentes, com a utilização de técnicas de controle de poluição, além da implantação destas em antigas usinas produtivas.

Para tanto, a SIDERBRÁS criou a Comissão de Assuntos Ambientais, com a implantação de setores de meio ambiente nas empresas que a compõem.

Nas medidas já adotadas para controle de poluição do ar estão incluídas: máquinas de enforamento de coque dotadas de equipamentos de controle de emissões e reaproveitamento dos gases de coqueria, alto-forno e aciaria, remoção de partículas dos efluentes da sinterização e diversos sistemas secundários de depuração.

Para controle da poluição das águas, já foram instaladas estações de tratamento biológico para os efluentes das coquerias, equipamentos de remoção de óleo, sistemas de recirculação de soluções empregadas no acabamento de chapas e sistemas de recirculação dos despejos de diversas áreas das usinas como alto forno, aciaria, corrida contínua e laminação.



2. PROCESSOS DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

2. PROCESSOS DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

A produção de ferro e aço pode ser resumida em 5 operações distintas e sequenciais: (a) preparação do minério, sinterização e pelotização; (b) produção de coque; (c) produção de ferro gusa em alto forno; (d) produção de aço (em forno reverbero, conversor a oxigênio ou forno elétrico a arco); (e) operações de acabamento: laminação, escarfagem, decapagem, revestimento, etc.

2.1. PREPARAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO

A preparação do minério de ferro visa a eliminação de grandes quantidades de ganga, e o fornecimento do minério em tamanho adequado à boa operação do alto forno.

Existem dois sistemas para aproveitamento dos finos do minério e outros insumos: a sinterização e a pelotização.

2.1.1. SINTERIZAÇÃO

A sinterização tem por objetivo constituir, a partir dos materiais finos, briquetes, em tamanho adequado ao carregamento do alto forno, denominados sinter. O minério fino é misturado com quantidades precisamente dosadas de combustível sólido (finos de: coque, carvão vegetal ou mineral e calcário) e que sob a ação do calor, aglomeram-se na forma de briquetes.

A máquina de sinterização é constituída de um misturador e de uma grelha móvel, em cuja extremidade próxima à alimentação, estão localizados os queimadores que propiciam o calor necessário à aglomeração da mistura.

O ar para a alimentação da combustão é aspirado pela parte inferior da esteira, onde estão localizadas as chamadas caixas de vento, ("wind box"), por onde é feita a sucção de material particulado, que posteriormente passa por um equipamento de coleta (geralmente ciclone seco). No final da es-

teira o material pré-fundido é britado, classificado e resfriado.

2.1.2. PELOTIZAÇÃO

A pelotização é outra operação que visa o aproveitamento dos finos de minério de ferro facilitando o seu transporte até a usina.

Esta operação é feita quase sempre junto as minas e consiste na moagem fina do minério, adição posterior de água, até obtenção de um teor de umidade adequado, e de um ligante. Esta massa resultante passa em seguida por uma etapa de rolamento realizada em tambores, discos ou cones. Após esta etapa de rolamento, o minério aglomerou-se sob a forma esférica.

As pelotas formadas passam posteriormente à esteira de sinterização onde existem duas zonas distintas: uma zona de secagem e outra de cozimento.

O cozimento das pelotas é feito em fornos rotativos semelhantes aos de cimento, com aproveitamento dos gases de combustão para a secagem das pelotas, antes destas entrarem no forno.

A esteira de alimentação do forno é semelhante a esteira de sinterização. Os gases que saem do forno rotativo são forçados a passar em contra-corrente pelo leito da esteira e posteriormente são descarregados na atmosfera, juntamente com grande quantidade de material particulado.

2.2. PRODUÇÃO DE COQUE

O coque é o principal combustível e agente redutor utilizado no alto forno.

A coqueificação é a operação de produção de coque a partir do carvão mineral, constituindo-se num processo de destilação destrutiva pelo aquecimento do carvão em atmosfera carente de oxigênio.

Durante este processo, os compostos orgânicos do

carvão são separados dando origem a gases e um resíduo de baixa volatilidade. Este processo é conhecido como método dos subprodutos devido a possibilidade de se recuperar os gases produzidos durante o período de coqueificação.

A coqueificação é realizada nas coquerias. Estas se constituem de baterias de fornos ou câmaras retangulares justapostas e aquecidas alternadamente. Os fornos são carregados com carvão através de portas colocadas em sua parte superior, após o que são selados.

O calor é fornecido às câmaras pela queima de parte dos gases produzidos durante a destilação destrutiva.

A coqueificação é realizada na faixa de 1.100°C a 1.150°C , por um período de aproximadamente 16 a 20 horas.

Ao terminar o ciclo de cozimento, o coque incandescente é transferido do forno para o carro de apagamento, por meio de um empurrador. Durante o transporte do coque do forno até a torre de extinção há a emissão de grande quantidade de gases e fumaça, que depende, sobretudo, do grau de cozimento do coque.

Associados com o processo de coqueificação estão as operações de manuseio de materiais, descarga do carvão, armazenamento, moagem e classificação do carvão, peneiramento, moagem, estocagem e transporte de coque. Todas estas operações são fontes potenciais de material particulado.

2.3. PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM ALTO FORNO

O alto forno é o maior reator químico usado na indústria siderúrgica, para a redução do minério de ferro. Este equipamento é constituído por uma câmara vertical revestida com material refratário, sendo alimentado por minério de ferro, sinter e/ou pelotas, coque e fundentes. Estes, reagem no seu interior com grandes quantidades de ar quente injetado pelas ventaneiras, produzindo o ferro gusa líquido e fornecendo, como subproduto, os gases de alto forno.

A produção de 1 unidade em peso de ferro gusa requer uma carga média de 1,55 unidades em peso de minério de

ferro; 0,55 unidades em peso de coque; 0,20 unidades em peso de fundentes e 2,3 unidades em peso de ar. Os subprodutos do alto forno são constituídos de 0,2 unidades em peso de escoria; 0,02 unidades em peso de pó e 2,5 unidades em peso de gás, por unidade em peso de ferro gusa produzido.

O material particulado coletado pelo sistema de depuração dos gases do alto forno é reciclado e utilizado na planta de sinterização.

Os gases emitidos possuem um alto teor em monóxido de carbono e baixo poder calorífico (900 kcal/m^3). Contudo, ele pode ser utilizado nos regeneradores, ou como combustível na aciaria, mas para isto, é necessário que o material particulado nele contido, seja removido.

Os gases são constituídos principalmente por vapor d'água, nitrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono, sendo que o monóxido de carbono está presente em teores de 25% a 30%, (base seca).

2.4. PRODUÇÃO DE AÇO

A aciaria propriamente dita pode ser constituída pelos seguintes tipos de fornos: reverbero, conversor a oxigênio e elétrico a arco. Estes, utilizando gusa líquido ou sólido, sucata, fundentes e ferro ligas, produzem o aço.

2.4.1. FORNO REVÉRBERO (SIEMENS-MARTIN)

Para a produção de aço em forno revérbero, são utilizados os seguintes materiais: sucata de ferro e aço, gusa líquido ou sólido, fundentes e ferro ligas.

A carga de um forno revérbero pode ser constituída por 60% de ferro gusa líquido, proveniente do alto forno, 40% de sucata de ferro, que é depositada sobre a soleira e por fundentes.

A soleira pode ser básica ou ácida, dependendo diretamente do tipo de refratário empregado em sua construção. A fonte de calor para fusão dos materiais é uma chama de tem

peratura elevada proveniente de maçarico alimentado por óleo combustível.

A sequência de operação é a seguinte: a soleira é carregada com fundentes, minério de ferro e manganês e sucata de aço, com os maçaricos já acesos.

Após um determinado tempo, adiciona-se o gusa líquido, sendo que quando não se usa gusa líquido, o gusa sólido é carregado juntamente com todos os materiais que constituem o leito de fusão.

O tempo requerido para o carregamento e fusão varia entre 2 e 4 horas, dependendo do tamanho do forno e da proporção metal líquido/sucata que constitui a carga.

À medida que aumenta a temperatura do banho fundido, inicia-se a decomposição do fundente, com o despreendimento do CO_2 aumentando a agitação do banho.

Após a efervescência, os óxidos dos fundentes permanecem na escória e inicia-se o processo de refino do aço.

2.4.2. CONVERSOR A OXIGÊNIO

O conversor a oxigênio vem nos últimos tempos, se constituindo no processo principal de produção de aço.

Este processo é empregado para produção de aço, a partir de uma carga composta de aproximadamente 70% de gusa líquido e 30% de sucata, através da injeção de oxigênio que é usado para oxidar as impurezas existentes na carga.

O referido processo utiliza grandes quantidades de oxigênio, que é borbulhado no banho de ferro gusa líquido, promovendo grande agitação no mesmo, aumentando sua temperatura, e permitindo que se adicione até mais de 30% de sucata de aço no forno.

Durante o borbulhamento de oxigênio, ocorrem as reações de transformação do gusa em aço, com o despreendimento de grandes quantidades de gases e material particulado (basicamente, óxido de ferro), além de pequenas quantidades de fluoretos.

O conversor a oxigênio utiliza como combustível, o próprio carbono e outros metalóides que se encontram no ferro gusa.

No estágio inicial da fabricação de aço em conversor a oxigênio, a carga composta por ferro gusa fundido, saturada de carbono, adicionada sobre a sucata fria, acarreta um resfriamento do metal fundido com conseqüente separação do grafite.

Ao se iniciar o sopro de oxigênio através da carga, é emitida uma densa fumaça marrom (devida a oxidação direta do ferro), até que os metalóides comecem a ser oxidados. Quando praticamente todos os metalóides já se oxidaram, aumenta a quantidade de carbono oxidado, com conseqüente aumento no volume gasoso que deixa o forno.

No caso do forno possuir sistema de exaustão é necessário introduzir uma certa quantidade de ar para se evitar o perigo de explosão, devido à alta concentração de monóxido de carbono contida no fluxo gasoso.

2.4.3. FORNO ELÉTRICO A ARCO

O forno elétrico a arco é utilizado para produzir aços especiais e também ligas especiais de aço.

Ultimamente as aciarias utilizam oxigênio nestes fornos com o intuito de aumentar o seu rendimento e diminuir o consumo de energia elétrica.

O forno elétrico a arco utilizado para produção de aço é carregado com gusa sólido ou líquido, sucata e fundentes.

O ciclo de fusão/refino inicia-se com o carregamento do mesmo com as matérias primas mencionadas acima por meio de deslocamento da abóboda do forno. Após a carga, a abóboda é recolocada, havendo em seguida a introdução dos eletrodos de fusão através da mesma, para contato com o material sólido confinado.

Assim que é realizado este contato, forma-se um arco entre o eletrodo e o material carregado, com transmissão

do calor diretamente a carga.

Após certo tempo há a liquefação da matéria sólida inicialmente carregada e esta mudança no estado físico da mesma, favorece a adição de mais sucata de aço sólida.

Após a fusão desta sucata adicional, o banho já está pronto para o refino, que é realizado pelo oxigênio que é fornecido através da lança, por um período de poucos minutos.

Finda a aplicação do oxigênio, o banho permanece no forno por outro período de tempo adequado ao acerto exato do tipo de aço que se deseja obter, sendo posteriormente descarregado por meio de basculamento em uma panela ou cadinho.

2.4.4. OPERAÇÕES DE ACABAMENTO

As operações de acabamento são constituídas pela laminação, escaufagem, decapagem, revestimento, etc.

A laminação consiste em transformar seções grandes, retangulares ou redondas, em seções menores, de formatos diversos e ao mesmo tempo, modificar profundamente a estrutura interna do lingote, pela destruição da estrutura dendrítica advinda do lingotamento e, por outro lado, caldear as bôlhas. A deformação da seção é obtida mediante a pressão entre cilindros giratórios, para se ter a redução de área ou a conformação da peça ao perfil desejado. A entrada da peça entre estes cilindros depende do ângulo de contato e do atrito entre o aço e os cilindros do laminador.

A laminação pode ser realizada a quente ou a frio. Laminação a quente é aquela que se realiza a temperaturas acima do ponto crítico do aço. Cada passe no laminador reduz o tamanho do grão, o qual cresce novamente, assim que a pressão é retirada. O tamanho final do grão é determinado pela temperatura e pela porcentagem de redução do último passe.

A laminação a frio se desenvolveu devido à necessidades crescente de material com qualidades mecânicas determinadas e às exigências cada vez maiores de uniformidade de bitola. Antes do trabalho a frio, é necessário remover a cama-

da de óxido por meio de decapagem, com o fito de se obter boa superfície no produto acabado.

A laminação a frio tem como consequência um aumento da dureza e da resistência à tração, ao mesmo tempo que reduz a ductilidade e o tamanho do grão do aço.

A operação de escarfagem visa a remoção de defeitos superficiais no aço, antes ou após a laminação. A remoção dos defeitos é realizada normalmente com a utilização de maçaricos de oxi-acetileno que removem por fusão local os defeitos superficiais.

A decapagem é o processo de remoção da camada de ferrugem ou de carepa da superfície do aço, pela ação de uma solução ácida diluída, a fim de permitir a deformação a frio (como a laminação, estiramento ou estampagem), ou a aplicação de um revestimento protetor (pintura ou eletrodeposição). Como meios de decapagem usam-se ácidos ou sais inorgânicos, sendo o ácido sulfúrico o mais empregado devido ao seu preço. Para a decapagem de aços especiais, utiliza-se misturas de ácido clorídrico e nítrico.

O processo de revestimento objetiva proteger a superfície do aço contra ataques diversos e pode ser de 3 tipos básicos: anódico, catódico e inerte.

Quando uma peça de aço é recoberta por um revestimento anódico, este será atacado preferencialmente e dissolve-se no eletrólito, protegendo assim a superfície do aço. É o caso da chapa galvanizada, onde o zinco protege o metal base.

A proteção catódica mais conhecida é a cromeação e é composta de pelo menos, três camadas: uma tênue película de cobre junto ao aço, coberta por uma camada mais pesada de níquel, que por sua vez, é recoberta por uma película de cromo. A proteção é suprida pelo níquel que tem sua resistência aumentada pelo cromo, porém a ferrugem ocorrerá através os poros e riscos nas três camadas de revestimento.

Os revestimentos inertes representam uma barreira entre o aço e o meio corrosivo, sendo representados pelas tintas, esmaltes ou plásticos.

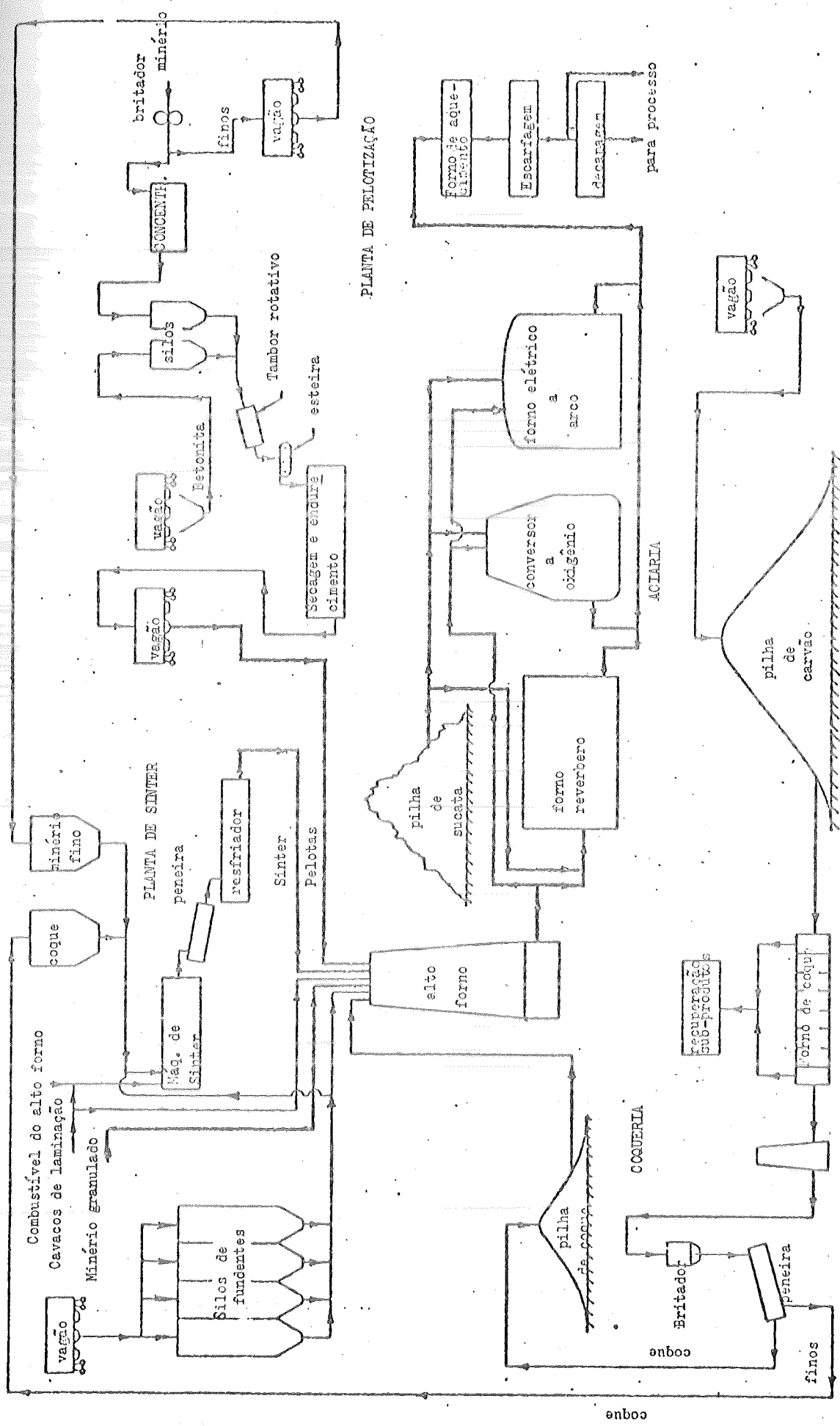


FIGURA 1 - Fluxograma da Produção de Aço

3 - CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA PELA
INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

3. CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA PELA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

3.1. SINTERIZAÇÃO

As fontes de emissão em uma planta de sinter são:

(a) caixas de vento ("wind box"), (b) terminal de descarga da máquina de sinterização, (c) manejo de materiais em toda a área da planta e (d) resfriador de sinter.

3.1.1. CAIXAS DE VENTO ("WIND BOX")

O ar de combustão, ao passar através da massa de sinter contida na grelha, arrasta material particulado para o interior das caixas de vento, situadas sob a grelha.

Além do pó, esta vazão conterá muitos produtos parciais de combustão, assim como contaminantes volatilizados do sinter. Tais contaminantes podem ser o monóxido de carbono, óxidos de enxofre, cloretos, fluoretos, amônia, hidrocarbonetos, arsênico.(1). O teor de umidade nos gases residuais varia de 8% a 15%.

O principal poluente presente nos gases residuais das caixas de vento é o material particulado, geralmente de granulometria grosseira. Balanços materiais realizados na vazão efluente deste equipamento, indicaram concentrações de pó de até 25 kg/t de sinter produzido.(1).

A análise química deste pó é função da prática de sinterização, embora possa se dizer que, a grosso modo, predominam os óxidos de ferro, silício, cálcio e alumínio.(1)

As características do gás efluente da caixa de vento são função da composição do sinter, condições em que se encontra o maquinário da planta e do produto acabado.

O monóxido de carbono contido na vazão efluente das caixas de vento contém cerca de 25% do carbono presente originalmente no coque, ao passo que 70% do enxofre contido nas matérias que compõe o sinter e no coque, é retirado na forma de óxido. As emissões de óxido de enxofre são substancialmente reduzidas quando o sinter apresenta um alto teor de cal

(a cal absorve os gases). (1)

Os hidrocarbonetos podem ocorrer em quantidades bem variáveis nos gases efluentes da caixa de vento. Estes utilizam-se de materiais componentes do sinter, tais como carepa de laminação, finos de coque, aparas de torno e brocagem e até de certos minérios.

Quando a planta processar minérios com alto teor em flúor, haverá emissões de fluoretos, embora as concentrações de cal influenciem nas concentrações daquele.

3.1.2. DESCARGA DA MÁQUINA DE SÍNTER

O britador e a peneira existentes após o terminal de descarga da máquina de sinterização constituem-se em fonte de emissão de material particulado.

Esta emissão deverá ser controlada por captadores adequados e a vazão por eles exaurida, exigirá um processo de depuração antes de ser descarregada para a atmosfera.

A geração de pó pode chegar a 11 kg/t de sinter produzida. (1). As emissões de quaisquer pontos de transferência de material, situados na vizinhança do terminal de descarga, deverão ser controladas pelo mesmo sistema de ventilação local exaustora.

3.1.3. MANEJO DE MATERIAIS

A grande quantidade e variedade dos materiais manejados em plantas de sinterização exige que certos pontos de manejo de materiais sejam controlados por captadores e que a vazão de controle seja depurada antes de ser descarregada para a atmosfera. Os materiais manejados são: pó fino e seco de aciaria, finos de minérios, de sinter, etc.

3.1.4. RESFRIADOR DE SÍNTER

Após o peneiramento a quente, o sinter é resfriado até obtenção do tamanho final. Existem numerosas configurações de resfriadores, porém a maioria é do tipo rotativo com

tiragem forçada. A vazão exaurida do resfriador poderá conter pó de sinter, caso o estágio anterior de peneiramento não tenha sido bem realizado. As emissões do resfriador podem chegar a 1,5 kg/t de sinter. (1)

3.2. PELOTIZAÇÃO

Conforme visto na parte descritiva de processo, a pelotização é realizada em 3 etapas: (a) redução do minério de ferro a uma granulometria fina; (b) aglomeração do mesmo após a adição de água e rolamento em tambores, discos ou cones; (c) secagem, queima e resfriamento das esferas.

Durante a primeira etapa, moagem e manuseio de materiais, há grande emissão de material particulado.

A segunda etapa, por ser realizada a úmido, não apresenta emissão considerável de poluentes.

A terceira etapa (secagem, cozimento e resfriamento das pelotas) é a que apresenta maior emissão de poluentes. As fontes de emissão presentes nesta etapa são: (a) sistema de exaustão da secagem; (b) sistema de recirculação dos gases de combustão do forno de cozimento; (c) sistema de exaustão do resfriamento; (d) as peneiras e (e) pontos de transferência de material.

3.3. PRODUÇÃO DE COQUE

A geração de poluentes atmosféricos no processo de coqueificação está associada com: (a) processamento e movimentação de massas de carvão e coque; (b) carga dos fornos; (c) descarga dos fornos; (d) apagamento do coque; (e) vazamento pelas portas dos fornos.

As operações de carregamento dos fornos e a má vedação de portas e tampas dos mesmos, constituem-se nas maiores fontes de emissões gasosas. Nestas emissões temos a presença de compostos de enxofre, tais como sulfetos de hidrogênio e carbono, tornando necessária uma dessulfurização do gás antes de utilizá-lo, a fim de se evitar a emissão de tais compostos ou do dióxido de enxofre, para a atmosfera.

As emissões gasosas dos fornos são coletadas e submetidas a uma série de operações com o intuito de separar alguns constituintes tais como: amônia, gás de coqueria, alcatrão, fenol, benzeno, tolueno, xileno e piridina. Estas operações unitárias são fontes potenciais de emissão de hidrocarbonetos.

3.3.1. PROCESSAMENTO E MOVIMENTAÇÃO DE CARVÃO E COQUE

As emissões consistem basicamente de material particulado e são geradas no estágio de redução de tamanho pela ação de ventos de superfície sobre o solo, pilhas de acúmulo; tráfego de caminhões, etc.

3.3.2. CARGA DOS FORNOS

Após a etapa de beneficiamento, o carvão está pronto para ser carregado nos fornos da coqueria. A medida que se processa tal carregamento, há expulsão dos gases contidos no interior do forno aquecido e o carvão começa imediatamente a volatilizar, havendo a emissão de poluentes pela porta de carga.

Estes poluentes são constituídos por hidrocarbonetos na forma gasosa, alcatrão, grafite e pó de carvão.

As coquerias européias emitem de 0,04 a 1,25 kg de material particulado/t carvão carregado e 0,06 a 0,80 kg de hidrocarbonetos/t carvão carregado. As coquerias norte americanas apresentam taxas de emissão maiores devido a carvões com maior teor de voláteis, fornos operando a temperaturas mais altas, carvão com menor teor de umidade e maiores taxas de alimentação. (1)

As emissões geradas durante o carregamento do carvão nos fornos da coqueria representam 60% da emissão global de material particulado na planta. *(da coqueria?)*

3.3.3. DESCARGA DOS FORNOS

Quando o coque incandescente é descarregado do for

no para o carro de coque, as correntes convectivas próximas a operação, aumentam a emissão do pó de coque resultante do deslocamento da massa de coque durante a descarga. No caso de ocorrer destilação destrutiva incompleta, haverá ainda a emissão de pó e hidrocarbonetos daquela parcela de carvão não coqueificado.

O fator mais importante a ser considerado para uma efetiva redução nas emissões geradas na descarga de coque é a otimização de operações que influam na formação de carvão não coqueificado ou "coque verde". A quantidade de emissões associadas à descarga do coque, em plantas com teores relativamente baixos de "coque verde", é cerca de 30% do total das emissões de coque no estado particulado. (1)

Fontes européias relatam níveis de emissão de pó variando de 0,12 a 0,40 kg/t de carvão. (1). Os fatores que afetam o nível de emissão e as técnicas de controle empregadas são o grau e a frequência de descargas não coqueificadas, projeto da coqueria, grau de enclausuramento dos captores, demanda de potência e interferências com as operações normais da coqueria.

3.3.4. APAGAMENTO DO COQUE

O apagamento do coque pelo processo convencional é realizado pelo transporte do mesmo em estado incandescente, até a estação ou torre de apagamento, que é constituída por uma torre de grandes dimensões, construída de tijolos, sobre um grande poço coletor.

O coque incandescente é borrifado com água vinda dos espargidores, formando-se imediatamente uma densa nuvem ascendente, constituída por ar aquecido e vapor d'água, que arrasta partículas finas de coque (1mm). A emissão sem controle de uma torre de apagamento fica na faixa de 0,06 a 0,24 kg/t de carvão. (1)

3.3.5. VAZAMENTOS PELAS PORTAS DOS FORNOS

Imediatamente após o carregamento do carvão no forno, desenvolve-se uma pressão interna suficiente para ocasio

nar emissões por todas as aberturas e frestas existentes no mesmo. A maioria das coquearias são equipadas com fornos dotados de portas projetadas para forçar um ressalto de aço contra um batente, obtendo-se assim um fechamento quase hermético, com frestas mínimas. A medida que cresce a pressão no interior do forno, aumentam as emissões de carbono e alcatrão pelas frestas, até o ponto em que estas são completamente preenchidas, vedando o forno.

Dessa maneira, as portas tenderão a vazar durante os primeiros 15 a 60 minutos após a carga, até que se estabeleça esta vedação devido ao carbono e alcatrão.

A intensidade de vazamento pelas portas é função do tipo de vedação (diafragma ou ressalto), prática de ajustagem das portas, o cuidado com que é feita a limpeza e a manutenção das portas e batentes, altura dos fornos e a prática de coqueificação.

Não há disponibilidade de determinações quantitativas de emissões devidas a vazamentos por frestas, porém, a ausência de emissões visíveis após 15 minutos do término da carga do forno, indica com razoável segurança, que o forno está bem vedado. (1)

3.4. PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM ALTO FORNO

As operações do alto forno associadas a emissões de material particulado são: (a) carregamento; (b) manejo do gás de alto forno; (c) corrida e (d) manejo da escória.

O manejo das matérias primas, antes do carregamento, não apresenta sérios problemas de emissão de material particulado devido ao beneficiamento anterior sofrido pelas mesmas na mina de calcário, na planta de sinterização e na coquearia.

As emissões de poluentes gasosos (basicamente monóxido de carbono) ocorrem por aberturas tais como válvulas de segurança, sistema de carregamento e durante a movimentação da carga no alto forno.

3.4.1. CARREGAMENTO DO ALTO FORNO

O carregamento efetuado através de um sistema sela do tradicional (duplo cone) não apresentará sérios problemas de emissão, desde que a vedação esteja em boas condições.

3.4.2. MANEJO DO GÁS DE ALTO FORNO

A quantidade de pó transportado pelo gás de alto forno pode variar de 14 a 150 kg/t de metal fundido, dependendo da granulometria dos materiais que foram alimentados ao forno e como foi preparado o leito de fusão. (1)

O pó carregado pelos gases é o resultado da abrasão dos materiais e movimentação da carga no interior do forno, durante o estágio inicial.

O material particulado emitido tem a seguinte composição aproximada: 35% a 50% de ferro; 4% a 14% de carbono; 8% a 13% de dióxido de silício e pequenas quantidades de óxidos de alumínio, manganês, cálcio, magnésio e outros materiais. (5)

Uma análise de tamanho de partícula de uma emissão típica, mostrou 2 faixas predominantes, uma de 100 a 300 microns e outra abaixo de 70 microns. (1)

As concentrações de pó podem alcançar 30 g/Nm^3 de gás. (1)

3.4.3. CORRIDA DO ALTO FORNO

O ferro gusa é vazado do alto forno para um sistema de calhas revestidas de material refratário que o transporta até o carro torpedo. O ferro está saturado de carbono, e a medida que resfria, emite flocos de grafite de sua superfície líquida.

Portanto, os poluentes emitidos durante a corrida do alto forno consistirão de flocos de grafite denominados "kish" ou escória grafitosa, assim como outras emissões menores de óxidos metálicos. (1)

3.4.4. MANEJO DA ESCÓRIA

A maior parte do enxôfre carregado com os materiais que compõe o leito de fusão é fixado e removido na escória, com teores variando de 1,2 a 1,8%.

A escória é removida do alto forno através de um sistema de calhas a uma razão de 200-350 kg/t de ferro. A medida que o enxôfre contido na escória entra em contacto com o ar, há formação de dióxido de enxôfre e, caso haja umidade presente, favorecerá a formação de sulfeto de hidrogênio.

A maioria das emissões de enxôfre estão associadas com o tratamento posterior realizado por borrifamento de água, segundo várias maneiras. Dependendo de como se processa a escória, as emissões de compostos de enxôfre poderão variar de nada (resfriamento a ar) até 1,4 kg/t de ferro (processo de escória expandida). (1) /

3.5. PROCESSOS DE REDUÇÃO DIRETA

No final da década de 60, início da de 70, começaram a surgir processos para converter óxidos de ferro para ferro elementar, sem o emprego da fusão em alto forno convencional. Estes processos de redução direta foram desenvolvidos para resolver o problema de regiões ricas em minério de ferro desejosas de possuírem uma indústria de produção de aço, mas com falta de capital e/ou mercado para a implantação de um complexo siderúrgico composto de alto forno/conversor a oxigênio.

Nestes processos, o minério é reduzido por gás natural, hidrocarbonetos líquidos ou carvões. Como estes processos são protegidos por patente, não é bem esclarecida a magnitude e a extensão do controle de poluição do ar, mas como a maioria destes processos opera com sistemas rigorosamente controlados de recirculação de gás redutor, espera-se que o nível de emissões seja mínimo. As emissões devidas ao manejo das matérias primas para estocagem e transporte, exigirão as práticas de controle convencionais. Os níveis de emissão deverão ser bem menores que os do alto forno devido a e

liminação das operações de corrida e manejo/tratamento da escória.

3.6. FORNO SIEMENS - MARTIN

Os fornos Siemens - Martin emitem basicamente, material particulado, composto por óxidos de ferro, com tamanho de partícula variando na faixa de 0 a 5 microns e pequenas quantidades de fluoretos, no caso de se utilizar fluoreta para facilitar a obtenção de uma escória com maior fluidez.

Na composição química destas emissões prevalece o ferro elementar e o óxido férrico.

A composição e a quantidade das emissões variam através do ciclo de fusão, sendo que a emissão de material particulado é normalmente maior durante a injeção de oxigênio e carregamento de metal fundido. A geração de material particulado pode ser de até 6 kg/t de aço, sem a aplicação da lança de oxigênio e de 11 kg/t de aço com lança de oxigênio. (1)

A concentração de material particulado pode ser da ordem de $11,5 \text{ g/Nm}^3$ durante as injeções de oxigênio. (1)

Altas concentrações de dióxido de enxofre estarão diretamente associadas à queima de combustíveis com elevado teor de enxofre.

3.7. CONVERSORES A OXIGÊNIO

As fontes de emissão, em uma planta contendo um conversor a oxigênio, são associadas às seguintes atividades:

(a) transferência do gusa líquido do carro torpedo, escumagem e/ou desulfurização da escória; (b) operação de carga e descarga do conversor e (c) injeção de oxigênio.

3.7.1. TRANSFERÊNCIA DO GUSA LÍQUIDO

A transferência do gusa líquido contido no carro torpedo para o conversor a oxigênio é realizada por meio de

uma panela de fundição. Esta transferência propicia a emissão de escória grafitosa ("kish") e óxido de ferro. A concentração de material particulado fica na faixa de 0,9 a 1,8 g/Nm³, medidos na vazão exaurida pelos captos instalados sobre a panela de fundição, durante o período de transferência do metal. (1)

A maior parte do material particulado é constituído de escória grafitosa grosseira com 16% da massa de partículas sendo menor que 10 microns e 3 % menor que 1 micron (1).

Na estação de transferência realizam-se outras práticas de condicionamento do gusa líquido, tais como a escumagem do excesso de escória contido na panela de fundição ou então a dessulfurização do gusa líquido.

Tais atividades geram emissões similares àquelas da transferência do gusa líquido.

3.7.2. CARGA E DESCARGA DO CONVERSOR

Assim que a sucata e o ferro gusa líquido são carregados no conversor, há emissão de poluentes constituídos por escória grafitosa e óxido de ferro, gerados do gusa líquido, e materiais voláteis contendo impurezas, gerados pela sucata. A qualidade da sucata é o fator mais importante que afeta a intensidade das emissões do carregamento.

As emissões geradas pelo vazamento do conversor, embora qualitativamente sejam iguais as da carga, são de menor intensidade, podendo ser controladas pelo mesmo sistema de controle das emissões do carregamento.

3.7.3. INJEÇÃO DE OXIGÊNIO

A violenta reação decorrente da injeção de oxigênio sobre o gusa líquido contido no interior do conversor, desenvolve uma emissão considerável de gases e de material particulado com alta porcentagem de ferro elementar e seus óxidos ferroso e férrico, além de pequenas quantidades de flúoretos. A geração de pó e fumos fica na faixa de 7 a 30 kg/t de aço produzido. (1)

A concentração de material particulado e fumos, na boca do conversor, pode chegar a 45 g/Nm³ (1), sendo que o

tamanho da maioria das partículas componentes desta emissão, está na faixa de 0 a 5 microns. (5).

O principal poluente gasoso emitido do conversor é o monóxido de carbono, a uma taxa de 70 kg/t de aço produzido. (5).

3.8. FORNO ELÉTRICO A ARCO

Os poluentes gerados durante a operação de fornos elétricos a arco consistem basicamente de material particulado e monóxido de carbono. A maior parte das emissões de material particulado ocorrem durante os ciclos de fusão e injeção de oxigênio, enquanto que a porção restante é liberada durante a carga e o vazamento do forno.

As emissões em termos de massa variarão conforme o método de carregamento, a qualidade da sucata, a taxa de injeção de oxigênio, a prática de operação do forno e o tipo de aço a ser produzido. (1).

O monóxido de carbono é gerado da reação do carbono contido nos eletrodos ou no aço, com o oxigênio injetado ou induzido. O forno elétrico a arco emite de 7 a 10 Kg de monóxido de carbono/t de aço produzido. (5).

A maior parte do monóxido de carbono formado entra em combustão à medida que sai do forno e se mistura com o ar.

3.8.1. CARREGAMENTO

A operação de carregamento de um forno elétrico a arco gera as seguintes emissões:

- a) vaporização e combustão parcial do óleo contido em carepas e aparas do torno e brocagem;
- b) oxidação de qualquer material orgânico ou estranho, aderido a sucata
- c) liberação de partículas de areia que são introduzidas no forno juntamente com os retornos de fundição.

Estas emissões são constituídas de material particulado, monóxido de carbono, hidrocarbonetos vaporizados e

fuligem, sendo geralmente liberadas para a atmosfera através das venezianas instaladas no teto do galpão. As emissões resultantes do carregamento poderão ser substancialmente reduzidas com o emprego de uma sucata limpa (sem óleo, material orgânico, areia).

De uma maneira geral, as operações de carregamento e vazamento de um forno elétrico a arco geram 10% da emissão global de material particulado do forno, quando há formação de ligas na panela de fundição, e apenas 5% quando não há a dição de ligas.

A operação de realimentação do forno, após a fusão da carga inicial, produz emissões de fumos de óxidos de ferro e monóxido de carbono, com o aspecto de violentas erupções.

3.8.2. FUSÃO E REFINO

Durante a fusão e refino do aço em fornos elétricos a arco, ocorrem emissões de:

- a) material particulado, na forma de óxidos minerais e metálicos, formados da vaporização do ferro e da transformação dos fundentes;
- b) monóxido de carbono, das perdas por combustão, dos eletrodos de grafite e do carbono contido no metal;
- c) hidrocarbonetos gasosos, gerados da vaporização e combustão parcial do óleo presente na carga.

Durante a fusão, há o escape de fumos do forno pelas aberturas de passagem dos eletrodos, porta de escória, junta entre o forno e a abóboda e, algumas vezes, pela bica de vazamento.

As taxas de emissões durante a fusão e o refino do aço variam substancialmente com a qualidade e o grau de limpeza da sucata dependendo em menor grau da composição da carga, taxa de fusão e temperatura de vazamento.

As taxas de emissão variam de 2 a 20 kg de material particulado/t de ferro carregado, sendo a emissão média de 7,0 kg/t. (3).

O material particulado gerado durante a fusão e refino é constituído por partículas de diâmetro médio muito pequeno da ordem de 80% menor que 5 microns. (3)

As taxas das emissões de pico, que ocorrem durante os períodos de aplicação da lança de oxigênio e realimentação de matéria prima, são duas ou três vezes maiores que a emissão média. (3).

3.8.3. VAZAMENTO

A operação de vazamento de um forno elétrico a arco produz grande quantidade de fagulhas e fumos, constituindo-se numa fonte de material particulado.

O vazamento de fornos de aço gera emissões um pouco maiores que o carregamento devido a maior temperatura de produção do aço e a maior adição de ligas.

As emissões do vazamento em geral não são controlados e escapam pelas venezianas do teto do galpão.

3.9. OPERAÇÕES DE ACABAMENTO

As operações de acabamento que apresentam emissões significativas são: a) fornos de espera ou reaquecimento; b) escaufagem; c) decapagem; d) galvanização por imersão a quente.

Os laminadores a frio de alta velocidade emitem névoas de óleo de resfriamento devido ao intenso calor e pressão gerados na operação.

3.9.1. FORNOS DE ESPERA OU REAQUECIMENTO

As emissões destes fornos limitam-se a produtos de combustão e dependendo do teor de enxofre do combustível utilizado, poderá haver emissões significativas de dióxido de enxofre.

3.9.2. ESCARFAGEM

A operação de escaufagem volatiliza o aço na superfície do "eslabe" ou do bloco, criando uma emissão de fumos de

óxido de ferro em concentrações de até 1.150 mg/Nm^3 . (1). Estes fumos podem ter uma distribuição granulométrica em peso de 70% menor que 1 microm e 30% menor que 0,1 microm. (1).

A remoção do material residual da escaafagem, localizado sobre a superfície do aço, é realizada geralmente por jatos de água, por isso, os gases exauridos da escaafagem a quente, estão saturados a uma temperatura de $50^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$. (1).

3.9.3. DECAPAGEM

Tanto na decapagem por batelada como na contínua, há emissão de névoas ácidas dos tanques contendo ácido quente.

Os tanques são dotados de captosres especiais que fazem a exaustão dessas névoas ácidas para que as mesmas não deteriorem o ambiente de trabalho e nem corroam a instalação.

3.9.4. GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

A galvanização por imersão a quente é o processo de aplicação de uma película de zinco sobre uma chapa de aço, submergindo-a em um banho de zinco fundido.

Sobre o banho fica flutuando o fundente, composto por cloreto de amônio ou cloreto de zinco-amônio e que serve para a preparação final da superfície.

Esta camada de fundente, estando o banho em repouso, funciona como uma espécie de tampa, porém quando a camada é quebrada pela imersão de uma folha ou peça de metal, há a liberação de emissões. A composição química destas emissões é 70% de cloreto de amônio (NH_4Cl), 15% de óxido de zinco (ZnO) e quantidades menores de zinco, amônia, óleo e água (1).

A distribuição granulométrica destas emissões fica na faixa de 0,1 a 1 microm, e as concentrações em volume nas vazões exauridas de fontes bem controladas poderão conter de 20 a 200 mg/Nm^3 . (1).

TABELA 9: Fontes potenciais de emissão de particulados na indústria de ferro e aço.

FONTE	MATERIAL EMITIDO	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS (microns)
1 - Britagem do minério	finos de minério	
2 - Manuseio de materiais e pilhas de estoque	minério, carvão e pó de calcário	
3 - Secagem das pelotas	minério e pó de carvão	
4 - Máquina de sinterização		
a) Caixa de vento	óxidos de ferro, finos de calcário, quartzo, etc.	15 - 45 < 40
		9 - 30 < 20
		4 - 19 < 10
		1 - 10 < 5
b) Descarga		80 < 100
		10 < 10
5 - Peneira de sinter		
6 - Resfriador de sinter		
7 - Fornos de coque	carvão, fumaça e coque fino	
a) Carregamento		
b) Coqueificação		
c) Torre de apagamento de coque		95 - 97 > 47
8 - Recuperação de subprodutos do coque	vapores de hidrocarbonetos e névoas	
9 - Alto forno	óxidos de ferro, finos de coque, calcário, etc.	variável
a) Carga		15 - 90 < 74
b) Aquecimento		
c) Vazamento	grafite	

FONTE	MATERIAL EMITIDO	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS (microns)
10 - Forno Reverbero sem lança	finos de óxidos de ferro, cal, sílica, grafite, etc.	50 < 5
com lança, efervescência da cal		45 < 2 75 < 5 92 < 10
Composição da carga		20 < 2 45 < 5 69 < 10
11 - Conversor a oxigênio	finos de óxido de ferro, cal, grafite e sílica, etc.	85 - 95 < 1
a) Composição da carga		
b) Transferência do metal quente do carro para a concha de carregamento	grafite	33 > 149 54 > 74 84 > 10 97 > 1
12 - Forno Elétrico a Arco s/lança de oxigênio	finos de óxido de ferro, cal, sílica, etc.	68 < 5 84 < 10 95 < 20 99 < 40
a) Carregamento		
b) Aquecimento		
c) Vazamento		
13 - Escarfagem	óxido de ferro	
14 - Decapagem	fumos de HCl, H ₂ SO ₄ , névoas de óleo/água, cloretos e sulfatos	

Distribuição de tamanho das partículas $x < y$ ou $x > y$
 $x \neq$ % em peso
 $y =$ tamanho em microns

Fonte: Particulate Pollutant System Study, Vol.III
 PB 203522 - NTIS, 1971

TABELA 10: Fatores de emissão para a produção de ferro e aço¹

Tipo de Operação	Material Particulado kg / t	CO kg / t	Fluoretos	
			gasosos kg/t	particulados kg/t
Sinterização	-	-	-	-
Caixas de vento	25	-	-	-
Descarga	11	22	-	-
Alto forno	82,5	875	-	-
Forno reverbero s/ lança de oxigênio	6,0	-	0,05	0,015
Forno reverbero c/ lança de oxigênio	11,0	-	0,05	0,015
Conversor a oxigênio	25,5	69,5	-	0,100
Forno Elétrico ^A a Arco s/lança de oxigênio	7,0	9,0	0,006	0,119
Forno Elétrico ^A a Arco c/lança de oxigênio	8,0	9,0	0,006	0,119
Escarfagem	0,5	-	-	-

1 - Os fatores de emissão estão expressos em unidade por unidade de peso de metal produzido.

A - Valores são para fornos elétricos produzindo aço carbono. Para produção de ligas os valores devem ser multiplicados por 2,8

Fonte: Compilation of Air Pollution Emission Factors USEPA - 2nd Edition.



4. AMOSTRAGEM EM CHAMINÉS DE FORNOS SIDERÚRGICOS

4. AMOSTRAGEM EM CHAMINÉS DE FORNOS SIDERÚRGICOS

O conteúdo do texto abaixo baseia-se exclusivamente em amostragens de chaminés realizadas pelas equipes da DFE Divisão de Fontes Estacionárias - CETESB. As amostragens aqui citadas foram realizadas visando a determinação do material particulado (pó) total emitido pelos diferentes tipos de fornos.

4.1. AMOSTRAGEM EM FORNO ELÉTRICO A ARCO-PRODUÇÃO DE AÇO

O forno acima referido, produz aço a partir de ferro gusa e sucata, sendo provido de sistema de ventilação local exaustora e equipamento de controle de poluentes do tipo depurador úmido venturi.

A natureza da amostragem foi a determinação do material particulado total emitido na chaminé situada após o sistema de exaustão e controle de emissões.

O carregamento médio do forno durante as amostragens foi de 16,7 t, divididos em ferrogusa, sucata de aço (maior parte), fundentes e minério de ferro.

As amostras foram coletadas na chaminé, após a passagem da vazão efluente pelo equipamento de controle de poluentes.

Foram realizadas 3 amostragens, sendo que cada uma teve a mesma duração de um ciclo completo de operação do forno.

Os resultados são apresentados na tabela abaixo.

TABELA 11 - Resultados da amostragem em forno elétrico a arco -
Produção de aço.

DETERMINAÇÕES	DADOS DO FLUXO GASOSO		DADOS DE EMISSÃO	
	VAZÃO [m ³ /min]	TEMPERATURA [°C]	CONCENTRAÇÃO [mg/Nm ³]	TAXA DE FLUXO [kg/h]
1. ^a Amostragem	407,36	67	65,88	1,29
2. ^a Amostragem	401,87	67	80,01	1,55
3. ^a Amostragem	408,27	70	61,98	1,21

FONTE: Divisão de Fontes Estacionárias - CETESB

4.2. AMOSTRAGEM EM CONVERSOR L.D.- PRODUÇÃO DE AÇO

O forno acima produz aço a partir de ferro gusa e escorificantes, sendo provido de sistema de ventilação local exaustora e de equipamento de controle de poluentes do tipo depurador úmido venturi (2 unidades).

A natureza da amostragem foi a determinação de material particulado total.

O carregamento médio do forno durante as amostragens variou de 105 a 115 t/ corrida, dividido em ferro gusa e escorificantes.

As amostras foram coletadas na chaminé situada após o sistema de depuração úmida. Foram realizadas 10 amostragens, sendo que cada uma teve a duração de um ciclo completo de operação do forno.

Os resultados são mostrados na tabela abaixo

TABELA 12 - Resultados da amostragem em Conversor L.D. - Produção de aço

DETERMINAÇÕES	DADOS DO FLUXO		DADOS DE EMISSÃO	
	VAZÃO (Nm ³ /h)	TEMPERATURA (°C)	TAXA DE EMISSÃO (kg/h)	CONCENTRAÇÃO (mg/Nm ³)
1. ^a AMOSTRAGEM	193.673	32	5,58	28,82
2. ^a AMOSTRAGEM	185.758	34	1,75	9,46
3. ^a AMOSTRAGEM	184.985	35	2,03	11,09
4. ^a AMOSTRAGEM	190.998	34	5,72	29,93
5. ^a AMOSTRAGEM	185.417	34	8,15	43,70
6. ^a AMOSTRAGEM	193.271	34	14,10	72,98
7. ^a AMOSTRAGEM	192.411	34	14,26	74,72
8. ^a AMOSTRAGEM	207.415	33	8,54	41,16
9. ^a AMOSTRAGEM	226.411	33	8,04	35,64
10. ^a AMOSTRAGEM	205.354	30	5,52	27,05

FONTE: Divisão de Fontes Estacionárias - CETESB

4.3. AMOSTRAGEM EM FORNO SIEMENS-MARTIN-PRODUÇÃO DE AÇO

O forno produz aço, não sendo provido de sistema de ventilação local exaustora e equipamento de controle de poluentes.

A natureza da amostragem foi a determinação do material particulado total emitido pelo forno.

O carregamento médio do forno durante as amostragens foi de aproximadamente 50 t/ ciclo de 3 horas.

As amostras foram coletadas na chaminé do forno. Realizou-se 3 amostragens, sendo que as amostras foram coletadas em 3 dias diferentes, com o seguinte critério: cerca de 1 hora após o início da primeira etapa do forno, que é a de aquecimento, ou seja, quando era feita a primeira injeção de oxigênio na fornalha, iniciou-se a coleta da amostra, com duração aproximada de 1 hora e 15 minutos.

Os resultados da amostragem são apresentados na tabela abaixo.

TABELA 13 - Resultado da amostragem em forno Siemens - Martin - Produção de aço.

DETERMINAÇÕES	DADOS DO FLUXO		DADOS DE EMISSÃO	
	VAZÃO (Nm ³ /h)	TEMPERATURA (°C)	TAXA DE EMISSÃO (kg/h)	CONCENTRAÇÃO (mg/Nm ³)
1. ^a AMOSTRAGEM	2.838	500	17,74	6.265
2. ^a AMOSTRAGEM	3.264	505	10,63	3.263
3. ^a AMOSTRAGEM	2.723	368	8,20 8,57	3.010

FONTE: Divisão de Fontes Estacionárias - CETESB

5. CONTROLE DOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

5. CONTROLE DOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

5.1. PLANTAS DE SINTERIZAÇÃO

O pó gerado durante as operações de sinterização pode retornar ao processo, e por isso, estas são dotadas de equipamentos de coleta de material particulado.

Os sistemas de depuração seca são preferíveis neste caso, pois o enxofre contido nos gases exauridos causará problemas de corrosão caso a coleta dos poluentes seja por via úmida.

No controle dos vários pontos de emissão são empregados, isoladamente ou combinados, ciclones, precipitadores eletrostáticos, depuradores úmidos tipo venturi e filtros de tecido.

5.1.1. CAIXA DE VENTO ("WIND BOX")

Devido a alta concentração de material particulado grosseiro reaproveitável na vazão efluente da caixa de vento, a maioria das plantas de sinter são equipadas com equipamentos de controle de emissões do tipo separadores gravitacionais (câmaras de sedimentação), seguidos de coletores mecânicos do tipo ciclone. Tais equipamentos recuperarão os materiais, evitando que estes cheguem ao ventilador, onde poderiam danificar o rotor por erosão.

Após a passagem pelos coletores primários, a concentração de material particulado na vazão está na faixa de 450 - 750 mg/Nm³, devendo portanto ser depurada em um equipamento de coleta secundário. Este equipamento, em geral, é um precipitador eletrostático, que apresenta eficiências de coleta maior que 99%. (1).

Contudo, este tipo de coletor apresenta uma redução na eficiência de coleta associada a problemas de resistividade elétrica quando o sinter é predominantemente básico ou a vazão a ser depurada contém baixas concentrações de dióxido de enxofre. Embora os precipitadores eletrostáticos ainda sejam muito empregados na Europa, a tendência nos Esta

dos Unidos e Japão é a sua substituição por outro tipo de coletor devido a tendência ao emprego maciço de sinter com altos teores de cal. (1)

O emprego de filtros de tecido no controle das emissões da caixa de vento, ainda está em fase experimental, não apresentando por enquanto, resultados satisfatórios. Alguns dos motivos que estão dificultando o emprego deste coletor são a abrasão do tecido constituinte da manga pelo pó, teores de umidade inadequados, desenvolvimento de corrosão, etc.

Os depuradores úmidos que operam com baixa queda de pressão, apresentam um desempenho razoável no controle das emissões da caixa de vento, mas para se alcançar uma eficiência de coleta que permita uma concentração de material particulado de 50 mg/Nm^3 na saída do equipamento de controle, será necessário se estabelecer quedas de pressão próximas a 1.000 mmCA, especialmente se houver a presença de hidrocarbonetos em quantidades apreciáveis. (1)

Os depuradores úmidos apresentam a vantagem da boa capacidade de coleta e remoção de óxidos de enxofre, fluoretos e cloretos no estado gasoso. Para uma operação eficiente, a composição química do líquido de lavagem deverá ser rigidamente controlada.

Os depuradores úmidos apresentam problemas operacionais, tais como desbalanceamento do rotor do ventilador provocado pela erosão e depósito de pó nas pás e pela corrosão provocada pelas características do efluente líquido. Em consequência, tais equipamentos apresentam um alto custo de manutenção.

5.1.2. DESCARGA DA MÁQUINA DE SINTER

No controle das emissões geradas no britador e na peneira, tem-se empregado com sucesso equipamentos de controle de poluentes do tipo: ciclone, filtros de tecido e depuradores úmidos de baixa queda de pressão, embora somente o emprego de ciclones raramente oferece uma boa eficiência de coleta. Outra técnica de controle é reciclar a vazão que controla o britador e a peneira para o captor localizado sobre

a grelha de sinterização, onde esta funcionará como parte do ar que circula na máquina. Ao se fazer isto, o pó é filtrado pela camada de sínter ou é tratado pelo sistema de depuração dos gases efluentes da caixa de vento.

5.1.3. MANEJO DE MATERIAIS

As emissões geradas nos pontos de manejo de materiais, por constituírem-se basicamente de material particulado, poderão ser convenientemente controladas com filtros de tecido, embora as vezes a coleta possa ser eficientemente realizada com ciclones ou multiciclones (dependendo da granulometria do material). Pode-se também empregar métodos indiretos de controle, quais sejam o emprego de espargimento de água ou de agentes químicos supressores de pó, em áreas abertas, pilhas de matéria prima, ruas e áreas de circulação de veículos, etc.

5.1.4. RESFRIADOR DE SÍNTER

O controle da emissão de pó de sínter, gerado no resfriador rotativo, poderá ser realizado por equipamentos de controle do tipo filtro de tecido ou depurador úmido.

5.2. PRODUÇÃO DE COQUE

5.2.1. BENEFICIAMENTO E MANEJO DO CARVÃO E DO COQUE

Os britadores, peneiras, moinhos, etc., deverão ser enclausurados e ter suas emissões ventiladas até o equipamento de controle de poluentes, que tanto poderá ser um ciclone como um filtro de tecido. As fontes de poeira fugitiva (pó levantado pelos ventos), poderão ser controladas por:

- (a) eliminação das fontes: os acúmulos de material nos pontos de transferência em sistemas de transporte por correia, deverão ser eliminados ou enclausurados;
- (b) emprego de sistemas supressores de pó, constituídos por espargimento de água, óleo ou aditivos químicos sobre cor

reias transportadoras, pilhas de acúmulo de materiais , operações de moagem não enclausuradas, áreas de tráfego de caminhões e tratores. As pilhas de acúmulo de carvão que não serão trabalhadas (desfeitas) dentro de um curto período de tempo, devem ser estabilizadas com o espargimento de substância plástica ou cobertas com lonas ou material similar adequado.

5.2.2. CARREGAMENTO DOS FORNOS

As práticas de controle podem ser agrupadas em cinco categorias gerais: (a) sistemas de aspiração; (b) carro alimentador ("larry car") equipado com depuradores úmidos ; (c) práticas de carregamento sequencial; (d) sistemas de carregamento fechado. (1)

Os sistemas de aspiração são compostos pelo conjunto de equipamentos e práticas que visam aumentar a tiragem nos fornos e sistemas de exaustão associados, durante a etapa de carregamento. Isto pode ser efetuado com a ejeção de vapor ou líquido, empregando várias configurações e pressões.

A efetividade desta técnica varia de equipamento para equipamento, dependendo da configuração do sistema de exaustão e suas conexões ("goosenecks"), a presença de outros equipamentos de controle e as dimensões do forno.

O carro alimentador ("larry car") equipado com depuradores úmidos, mostrado na figura 2, faz o controle das emissões do carregamento quando as portas de carga são abrangidas pelo captor e os gases efluentes são depurados por via úmida, antes de serem liberados para a atmosfera.

Embora um tanto difíceis de operar e manter, tais sistemas são amplamente empregados, especialmente em conjunto com sistemas de aspiração. (1)

Os melhores projetos incluem condições de realizar uma pós-combustão dos gases, sistema de depuração independente para cada porta de carga e o emprego de depurador úmido de alta energia do tipo venturi.

Os sistemas de carregamento sequencial englobam equi

pamentos e práticas de operação que controlam o carregamento de tal maneira que, um sistema de aspiração, sozinho, torna-se adequado ao controle primário (1)

Nesta prática, as emissões são reduzidas pela limitação do número de aberturas de fornos simultâneos e assegurando-se uma exaustão adequada para cada abertura. Isto requer um controle individual das tampas das portas de carga e silos de carvão e o estabelecimento de uma aspiração-exaustão, adequadas e simultâneas, pelas extremidades do forno. Como esta técnica de controle é mais uma prática operacional do que um sistema de equipamentos, as variações são infinitas e a técnica deverá ser ajustada a cada planta.

Nos sistemas de carregamento fechado, a aspiração remove somente os gases gerados no carregamento, excluindo o ar induzido. Tais sistemas são de dois tipos: (a) sistemas realmente vedados, que carregam o carvão por técnicas não convencionais e (b) sistemas vedados mecanicamente, empregando carros carregadores convencionais.

O primeiro tipo foi desenvolvido basicamente para promover a eficácia de operação do forno pelo carregamento de carvão pré-aquecido e não pode, por si só, ser considerado uma técnica de controle de poluição do ar. O segundo tipo de sistema emprega tubos de alimentação que ligam o fundo do silo de carvão até a boca da porta de carga, prevenindo assim a emissão de poluentes pela última e forçando a exaustão dos gases através dos dutos coletores principais.

5.2.3. DESCARGA DOS FORNOS

Os métodos de controle das emissões da descarga do coque, são tão variados como os da carga, podendo ser agrupados em quatro categorias: (a) sistemas com captadores montados na plataforma; (b) sistemas com captadores montados no carro de coque; (c) sistemas compostos por conjuntos captadores - dutos fixos; (d) enclausuramento da coqueria, pelo lado da descarga de coque, mediante construção de galpão. (1)

Os sistemas de exaustão com captadores montados na pla

taforma de desenformamento, apresentam projetos que incorporam captadores móveis, dutos, depurador úmido e exaustor, montados sobre um veículo separado que se desloca sobre a plataforma, ao longo de toda a coqueria, junto com a guia de coque.

Atualmente já há uma modernização deste sistema que é a substituição do exaustor por um depurador úmido do tipo venturi, com ejeção de vapor. Este método de controle é bastante empregado na Alemanha Ocidental. (1)

Os sistemas de exaustão com captadores instalados sobre o carro de coque são compostos por captador, dutos, depurador úmido e exaustor.

Estes sistemas exigem conexões apropriadas e uma interligação perfeita entre a guia de coque, o captador, o carro de coque e os dispositivos de apagamento do coque. A exemplo da categoria anterior, o exaustor pode ser substituído por um ejetor venturi, para minimizar o peso do equipamento montado sobre o carro.

Os sistemas captador-duto fixo são conectados a um captador móvel que controla as emissões da descarga e são substituídos por um duto estacionário, exaustor e sistema de depuração úmida.

A eficiência de captação e controle das emissões é função da perfeita conexão entre o duto estacionário e o captador móvel, de uma vazão de controle adequada e da eficiência de coleta dos equipamentos de controle, que no caso deverão ser um depurador úmido do tipo venturi ou um depurador úmido de baixa perda de pressão seguido de um precipitador eletrostático. A figura 3 mostra um esquema desta instalação.

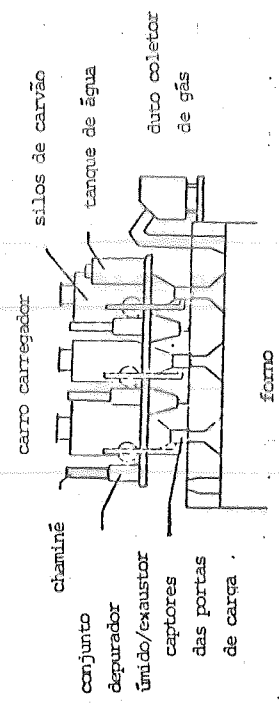


FIGURA 2 - Sistema de depuração úmida instalado no carro carregador

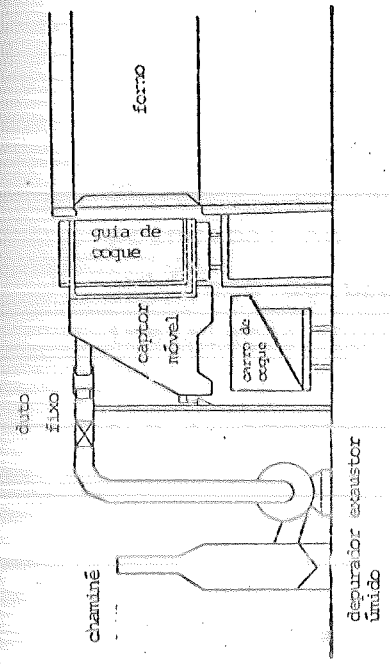


FIGURA 3 - Sistema captor - duto fixo para controle das emissões da descarga dos fornos de coqueria

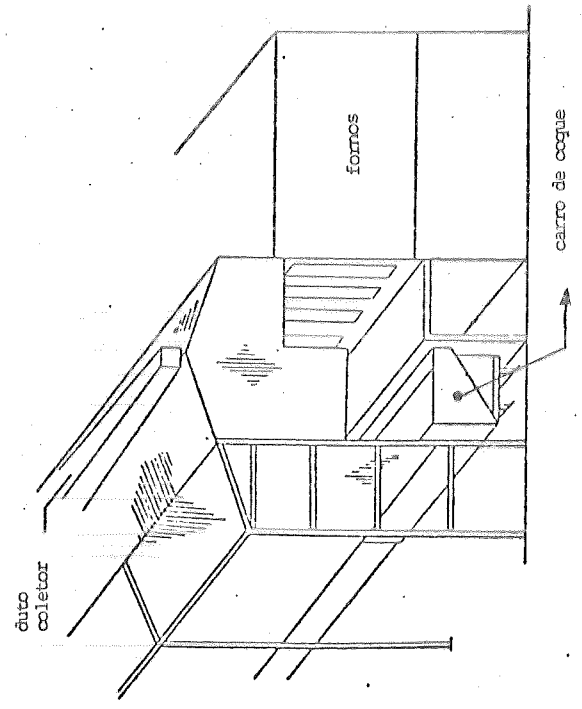


FIGURA 4 - Enclausuramento do lado da descarga do coque

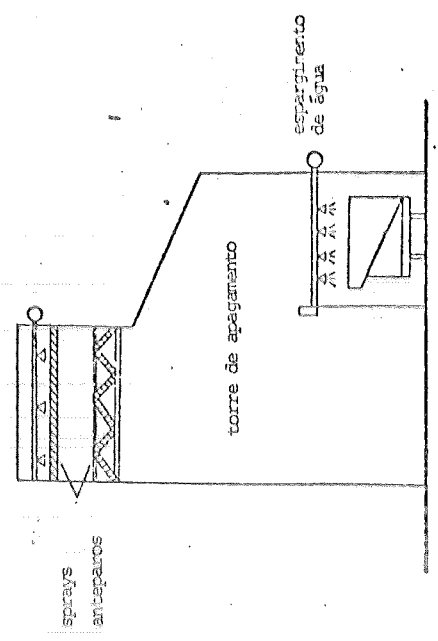


FIGURA 5 - Sistema de controle de poluentes em torres de aquecimento

O enclausuramento do lado da descarga do coque, por meio da construção de galpões, apresenta vantagens tais como a simplicidade de projeto e operação, a facilidade de instalação em coquerias já existentes e a capacidade de coletar emissões geradas por vazamentos pelas portas dos fornos. A principal objeção ao emprego de galpões é a manutenção de um ambiente de trabalho limpo e seguro. A figura 4 ilustra uma instalação deste tipo.

5.2.4. APAGAMENTO DO COQUE

As emissões da torre de apagamento de coque podem ser reduzidas em até 80% pelo simples emprego de anteparos (de várias configurações), instalados próximos a saída da torre.

A limpeza destes anteparos poderá ser realizada instalando-se chuveiros acima deles.

A figura 5 mostra uma instalação deste tipo.

Em sistemas de apagamento contínuo, realizados no sub-solo, as emissões de material particulado são abafadas ou então são confinadas e eliminadas por sistemas integrados com o sistema de controle das emissões da descarga de coque.

5.2.5. VAZAMENTOS PELAS PORTAS DOS FORNOS

A medida mais eficaz para controlar tais emissões é a construção de galpões ventilados, os quais confinarão o lado de descarga do coque na coqueria, além de uma esmerada prática de operação e manutenção dos fornos.

5.3. ALTO FORNO

5.3.1. MANEJO DO GÁS DE ALTO FORNO

Para o tratamento da vazão efluente deste forno, a qual transporta predominantemente partículas maiores que 50 microns, empregam-se sistemas de depuração constituídos de 3 estágios:

- (a) pré-depuração realizada em câmaras de sedimentação ou ciclone seco;
- (b) depuração primária, realizada em depuradores úmidos de média eficiência;
- (c) depuração secundária realizada em precipitador eletrostático ou depurador úmido de alta eficiência.

O objetivo principal desses sistemas de depuração é fornecer os gases suficientemente limpos e próprios para a sua utilização como combustível e reciclar o pó coletado. (5)

5.3.2. CORRIDA

As emissões geradas durante a operação de corrida do alto forno poderão ser minimizadas, adotando-se os seguintes procedimentos: (a) diminuindo-se o comprimento das calhas de corrida; (b) enclausurar a área de corrida com um galpão e exaurir todo o ar contido em seu interior, dirigindo-o para um equipamento de controle do tipo filtro de tecido; e (c) enclausuramento de todo o sistema de calhas e instalação de captor sobre a bica de descarga. (1)

5.3.3. MANEJO DA ESCÓRIA

A não ser alguma mudança na prática de manejo da escória, não há um método satisfatório para o controle das emissões desta operação e que esteja sendo amplamente empregado. (1)

5.4. FORNO SIEMENS - MARTIN

O controle das emissões de fornos Siemens-Martin é efetuado por precipitador eletrostático, depurador úmido do tipo venturi e filtro de tecido. (1).

Com fornos dotados de caldeiras para recuperação de calor, as características do gás são ideais ao emprego de precipitadores eletrostáticos, enquanto que para fornos sem caldeira, será mais conveniente o emprego de depuradores úmidos. (1)

A instalação de precipitadores eletrostáticos em fornos Siemens-Martin apresenta 2 problemas: (a) o projeto dos dutos de transporte dos gases, do forno para o precipitador e (b) o projeto do sistema de distribuição do gás na entrada do precipitador.

O fator principal que afeta a eficiência de coleta de um precipitador eletrostático, instalado em um forno Siemens-Martin, é o próprio processo de operação do forno, ou seja, provém da variação nas propriedades das emissões do forno durante uma corrida, pois a umidade contida nos gases pode baixar de 18% para 2%, com conseqüente aumento da resistividade e queda na eficiência de coleta do precipitador. Tal inconveniente pode ser controlado fazendo-se uma injeção de vapor no sistema.

A maioria dos precipitadores eletrostáticos instalados em fornos Siemens-Martin tem excedido 98% de eficiência global de coleta. (1).

Os depuradores úmidos do tipo venturi exigem quedas de pressão da ordem de 1.000 mmC.A. para se obter uma redução adequada nas emissões (1).

Os sistemas a úmido apresentam a desvantagem da ocorrência de corrosão, devida à presença de dióxido de enxofre na vazão de controle. Este poluente, formado pela queima do enxofre contido no combustível, é absorvido pela solução de lavagem, tornando-a ácida.

Os precipitadores eletrostáticos e os filtros de tecido também estão sujeitos à corrosão.

Em relação aos filtros de tecido, o meio filtrante mais adequado à coleta de fumos gerados em fornos Siemens-Martin, é a fibra de vidro.

A seleção do tecido é baseada na temperatura de operação e na resistência do tecido à abrasão e corrosividade dos gases.

Os tecidos podem ser trançados ou feltrados, sendo que estes últimos são quase sempre limpos por meio de jato pulsante ou jato reverso.

As características do tecido podem ser alteradas por tratamento posterior, visando propósitos específicos, tais como, diminuir a adesão ou melhorar a durabilidade. As mangas de fibra de vidro recebem tratamento a base de silicone,

para reduzir a abrasão.

Os tecidos mais empregados no controle de fumos siderúrgicos são o poliéster, o nylon e a fibra de vidro. Quando a vazão a ser depurada estiver com temperaturas acima de 200°C, o melhor material para o meio filtrante será a fibra de vidro, enquanto que abaixo de 130°C, prefere-se o poliéster.

O controle das emissões do carregamento e vazamento de fornos Siemens-Martin poderá ser realizado por captadores tipo coifa suspensa, preso no teto do galpão e que conduzirão os fumos que sobem por correntes convectivas, até um equipamento de controle do tipo filtro de tecido. (1).

5.5. CONVERTOR A OXIGÊNIO

O conversor a oxigênio emite uma quantidade maior de fumos, com distribuição granulométrica mais fina, do que o forno Siemens-Martin.

A operação que causa maior emissão de fumos é a injeção de oxigênio no metal fundido. O volume gasoso gerado é proporcional ao volume de oxigênio injetado, sendo a relação da ordem de 25 m³ de gases gerados para cada m³ de oxigênio injetado. (5).

Os conversores são comumente operados aos pares e conectados a um mesmo sistema de controle de emissões.

5.5.1. TRANSFERÊNCIA DO GUSA LÍQUIDO

Inicialmente, tentou-se controlar as emissões geradas na operação acima referida, empregando-se um mult ciclone.

Este equipamento de controle apresentava uma boa eficiência de coleta para as partículas de escória grafitosa, porém, não conseguia captar as partículas mais finas de óxido de ferro.

Isto forçou a sua substituição por filtros de tecido que hoje são amplamente empregados na redução total das emissões de material particulado geradas na operação de trans

ferência de gusa líquido.

O controle das práticas de condicionamento do gusa líquido (desulfurização, escumagem), realizadas na estação de transferência, poderá ser realizado pelo mesmo sistema de controle, isto é, instalação de captores no local e depuração da vazão de controle com o emprego de filtros de tecido.

5.5.2. CARGA E DESCARGA DO CONVERSOR

A prática de controle mais comum é a instalação de um captor enclausurante sobre a boca do conversor, o qual captará e transportará os fumos pelo sistema de ventilação até o equipamento de controle que tanto poderá ser um filtro de tecido ou um depurador úmido. (1). No caso de se adotar um depurador úmido de alta energia (venturi), este deverá ter uma queda de pressão da ordem de 1.000 a 1.300 mm C.A. para coletar satisfatoriamente as partículas finas de óxido de ferro. (1).

Os fumos que escapam do captor enclausurante podem ser coletados com o emprego de captores tipo coifa suspensa, instalados acima do conversor.

Os captores tipo coifa suspensa dirigem os fumos para equipamentos de controle do tipo filtro de tecido. Este sistema pode ser interligado ao sistema de ventilação exaustora do captor enclausurante, diluindo os gases a alta temperatura que são exauridos por este último.

5.5.3. INJEÇÃO DE OXIGÊNIO

As emissões geradas nas etapa de injeção de oxigênio poderão ser controladas mediante o emprego de precipitadores eletrostáticos e depuradores úmidos de alta energia (venturi, p.ex.). (1). Os precipitadores são geralmente associados a sistemas de ventilação exaustora, compostos por captores abertos e que permitem um excesso de ar da ordem de 200% a 300%, visando minimizar a ocorrência de uma atmosfera explosiva gerada pela mistura do monóxido de carbono, resultante da injeção de oxigênio, com o oxigênio do ar.

Os precipitadores eletrostáticos tem seu desempenho prejudicado por problemas ligados à variação do fluxo gasoso, teor de umidade, temperatura de entrada dos gases e manutenção. Estes equipamentos apresentam uma eficiência de coleta menor no início da injeção de oxigênio, enquanto os gases não atingem as condições ideais de temperatura e teor de umidade.

O projeto e o posicionamento do captor são partes importantes neste sistema de controle. A fresta existente entre o conversor e o captor, para admissão de ar de diluição, é geralmente determinada pelas condições de operação e de modo a evitar depósitos na boca do forno. Esse depósito de pó pode restringir o fluxo de ar necessário para combustão do monóxido de carbono, fazendo com que chegue ao precipitador um fluxo gasoso muito rico em monóxido de carbono, que poderá causar algum dano a instalação.

Para o precipitador eletrostático alcançar eficiência de coleta superior a 99,5%, deve-se tomar alguns cuidados básicos, tais como o resfriamento dos gases até uma faixa de 200 a 300°C, adição de umidade à vazão (20 a 30%) para condicioná-la e uma boa distribuição do gás na entrada e através o precipitador (1) (5). Os precipitadores devem ser precedidos de separadores gravitacionais que coletarão o particulado mais grosseiro, melhorando a eficiência de coleta e diminuindo o desgaste nas partes internas do precipitador.

Os depuradores úmidos de alta energia são acoplados a sistemas de ventilação exaustora dotados de captores enclausurantes ou abertos, admitindo um excesso de ar da ordem de 10 a 70%. Os sistemas de depuração úmida podem tolerar uma quantidade considerável de monóxido de carbono, sem perigo de explosão.

A necessidade de se obter grandes quedas de pressão (da ordem de 1.200 a 1.360 mmC.A.) para a coleta eficiente dos fumos de óxido de ferro, torna imperiosa a necessidade de se processar menores volumes possíveis de ar, caso contrário teremos custos absurdos para a geração de potência e para a manutenção. (1)

A temperatura e o volume da vazão exaurida poderão ser diminuídas com o emprego de um resfriador por evaporação, instalado após o captor.

Visando-se aumentar a eficiência de coleta do depurador de alta energia, é de boa prática instalar a montante deste, um depurador úmido com baixa queda de pressão.

O sistema de tratamento do líquido efluente dos depuradores, deverá ser projetado para remover um material de granulometria finíssima, devido ao tamanho das partículas de pó a serem coletadas.

5.6. FORNO ELÉTRICO A ARCO

O controle das emissões geradas por fornos elétricos a arco exige duas etapas separadas:

- (a) exaustão ou confinamento dos fumos;
- (b) remoção do material particulado contido na vazão de controle.

Nesta seção apresentamos as técnicas mais comuns para o controle de emissões de fornos elétricos a arco e alguns comentários sobre técnicas de controle que poderão vir a ser adotadas em futuro próximo.

5.6.1. EXAUSTÃO DAS EMISSÕES PRODUZIDAS PELA FUSÃO E REFINO

A grande maioria dos fornos elétricos a arco, instalados em aciarias e fundições, tem suas emissões decorrentes das fases de fusão e refino coletadas por um dos três sistemas básicos apresentados abaixo (3):

- (a) captação envolvente na abóboda;
- (b) captação por tiragem lateral;
- (c) exaustão direta pela abóboda (4º furo).

A seleção do sistema de captação mais adequado ao controle das emissões da fusão e refino dependerá das restrições físicas e estruturais do local onde está instalado o (s) forno (s).

Cada um destes sistemas de captação, desde que adequadamente projetado e mantido, provêrã uma coleta eficiente dos fumos emitidos, dirigindo-os ao equipamento de depuração de gases (geralmente um filtro de tecido). Contudo, por mais eficiente que seja o captor, sempre haverã pequenos vazamentos de fumos pelo forno ou pelo sistema de exaustão local. Os pontos de vazamento mais comuns nos fornos são os furos de passagem dos eletrodos de fusão, a porta de escória e pela abóboda, quando com vedação imperfeita. Os vazamentos são mais intensos durante a fusão inicial da carga e a aplicação da lança de oxigênio.

Os sistemas para captação dos fumos gerados durante a fusão e refino não são adequados ao controle das emissões produzidas pelas operações de carregamento e vazamento. Os captores e dutos do sistema de exaustão da fusão ficam incorporados à abóboda do forno e tornam-se inoperantes durante o carregamento (a abóboda é deslocada lateralmente) e o vazamento (o forno bascula e se desconecta do sistema de exaustão).

Devido a isto, a primeira parte desta seção tratarã dos sistemas de controle básicos para a coleta dos fumos emitidos durante a fusão e o refino, enquanto que a segunda parte discorrerã sobre as tecnologias de controle de emissões do carregamento e vazamento.

5.6.1.1. CAPTAÇÃO ENVOLVENTE NA ABÓBODA

Neste sistema, o captor é instalado sobre o forno elétrico, enclausurando completamente a abóboda, como ilustra a figura 6. Este captor pode ser construído com extensões que colem os fumos emitidos pela bica de vazamento e pela porta de escória. A desvantagem apresentada por captores deste tipo é a dificuldade de acesso aos eletrodos de fusão e juntas de vedação refrigeradas a água, dificultando a manutenção e reparos nestes componentes.

Este problema pode ser parcialmente solucionado instalando-se portas de acesso na estrutura do captor. O captor envolvente possui a estrutura mais pesada de todos os siste-

mas de exaustão, portanto, quando este sistema for instalado em um forno elétrico a arco, deve-se atentar para o aumento da carga sobre a abóboda do forno e o mecanismo que a remove.

5.6.1.2. CAPTAÇÃO POR TIRAGEM LATERAL

A captação por tiragem lateral é o mais comum dos três sistemas de exaustão. O captor pode ser montado diretamente sobre ou próximo a abóboda do forno, como mostra a figura 7.

O captor é projetado com uma abertura em um dos lados para não bloquear o movimento dos eletrodos de fusão. A medida que há emissão de fumos pelos furos dos eletrodos, estes são aspirados para o interior do captor. Este sistema com porta também a instalação de captores sobre a bica de vazamento e a porta de escória.

A captação por tiragem lateral exige maiores volumes de ar em relação ao sistema de captação envolvente, devido a tiragem lateral dos fumos. Esta vazão volumétrica maior assegura a combustão do monóxido de carbono gerado durante a injeção de oxigênio e reduz a temperatura da vazão de controle.

A captação por tiragem lateral é mais simples que a captação envolvente na abóboda, o arranjo de captores e dutos coloca menos peso sobre o forno e seu mecanismo de basculamento e apresenta um melhor acesso para manutenção dos eletrodos de fusão e juntas refrigeradas. A instalação de um sistema de captação por tiragem lateral em um forno elétrico a arco apresenta poucos problemas.

5.6.1.3. EXAUSTÃO DIRETA PELA ABÓBODA (4º FURO)

Este sistema de captação controla as emissões através da instalação de um quarto furo na abóboda ou parede lateral do forno, como mostra a figura 8.

Os fumos gerados no interior do forno são exauridos através de um cotovelo refrigerado a água ou revestido com

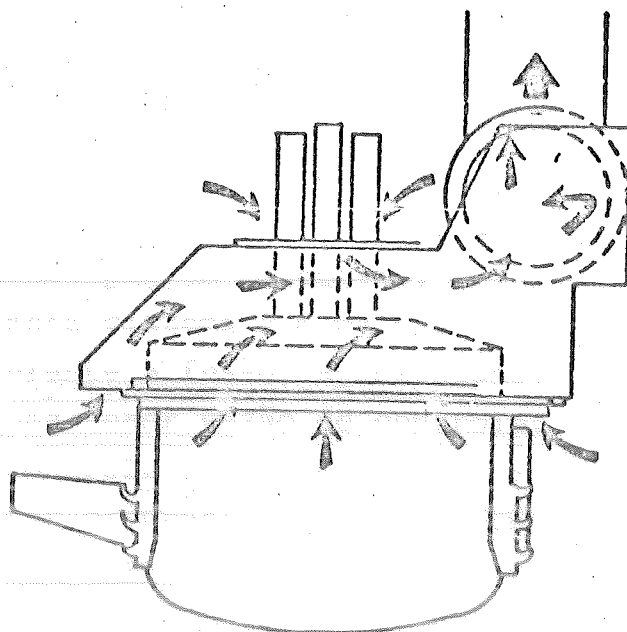


FIGURA 6 - Captação envolvente na abóboda

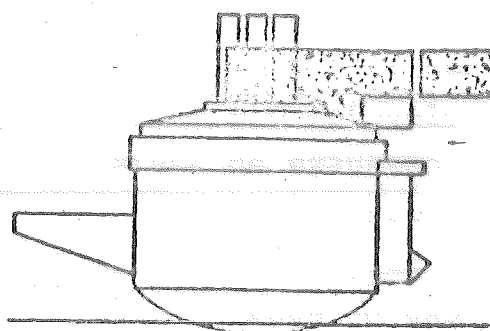


FIGURA 7 - Captação por tiragem lateral

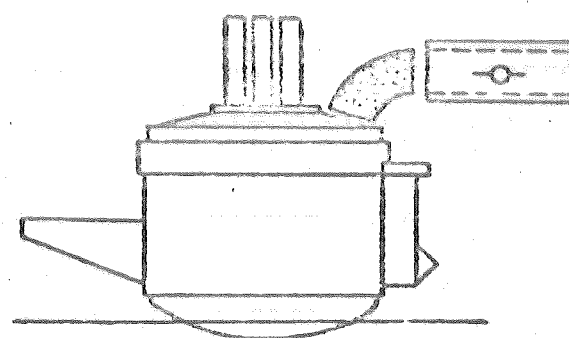


FIGURA 8 - Exaustão direta pela abóboda (4º furo)

material refratário.

Esta exaustão contínua estabelece um leve vácuo dentro do forno, sendo a intensidade do mesmo, dosado por meio de um registro instalado no duto de exaustão e controlado automaticamente por um manómetro.

Este sistema é o mais eficaz na coleta de emissões geradas durante a fusão, apresentando ainda a vantagem de utilizar uma menor vazão de controle. Por outro lado, esta vazão de controle exige uma quantidade maior de resfriamento, antes de ser depurada pelo equipamento de controle de poluentes. Este resfriamento poderá ser realizado pela introdução de ar de diluição, emprego de torres de resfriamento, colunas de radiação - convecção e dutos dos sistemas de ventilação exaustora refrigerados a ar ou água.

Embora este sistema de exaustão direta seja o mais eficiente na coleta dos fumos gerados durante a fusão, o mesmo não poderá ser instalado em fornos elétricos fundindo ferro, ligas com alto teor de carbono ou ligas especiais de ferro ou aço. A admissão constante de ar para o interior do forno, afeta a atmosfera interna do mesmo, influenciando a química da fusão. Este ar frio que entra pelas frestas e portas, resfria a escória, dificulta o controle da temperatura e oxida o carbono presente a monóxido de carbono.

Uma excessiva formação de monóxido de carbono poderá estabelecer riscos de explosão no sistema de ventilação. Este risco poderá ser eliminado deixando uma abertura entre o forno e o cotovelo do quarto furo ou entre o cotovelo e o sistema de exaustão.

As aberturas introduzirão ar de diluição, o qual oxidará o monóxido de carbono a dióxido.

Face ao exposto, conclui-se que o sistema de captação por exaustão direta (4º furo) é adequado ao controle de fornos elétricos produzindo aço, desde que estes sejam de capacidade razoável, pois em fornos pequenos, as vezes não é viável a instalação deste sistema devido a falta de espaço na abóboda para a realização do 4º furo e a flutuações muito rápidas na pressão interior do forno, as quais não podem ser acompanhadas pelo controle automático de pressão que controla o registro instalado no sistema de dutos de ventilação.

5.6.2. CONTROLE DAS EMISSÕES DO CARREGAMENTO

Os fornos elétricos a arco são carregados removendo-se o conjunto abóboda-eletrodos de fusão- sistema de captação e adicionando-se sucata por meio de caçambas com descarga pelo fundo. Assim que a sucata entra em contato com o forno incandescente, há geração de fumos (vapores de hidrocarbonetos e fuligem, provenientes do óleo contido na sucata), óxidos de ferro (provenientes de respingos e da oxidação do ferro) e fumaça (proveniente de sujeiras contidas na sucata)

As emissões devidas ao carregamento são em geral liberadas para a atmosfera através das venezianas situadas no teto da fábrica, mas quando tais emissões alcançam níveis indesejáveis, estas podem ser controladas segundo 4 técnicas básicas (3):

- (a) captação por coifas suspensas;
- (b) captação por troca do ar ambiente da fábrica;
- (c) enclausuramento dos fornos;
- (d) captação por capttores especiais.

As técnicas acima também são aplicáveis ao controle das emissões geradas durante o vazamento.

As emissões da operação de carregamento poderão ser controladas aplicando-se medidas indiretas de controle, tais como só processar sucata limpa ou então submeter a sucata suja a processos de pré-aquecimento ou a desengraxantes.

5.6.2.1. CAPTAÇÃO POR COIFAS SUSPENSAS

O captor tipo coifa suspensa é o equipamento mais empregado nas fundições para a coleta das emissões resultantes do carregamento e vazamento, sendo operado somente durante esses períodos e localizado sobre a ponte rolante. A figura 9 mostra um sistema típico de captação por coifa suspensa

A configuração e a localização apropriada da coifa suspensa dependem basicamente dos aspectos estruturais e geométricos do galpão da fábrica.

A coifa suspensa raramente pode ser instalada na posição mais eficiente, isto é, imediatamente acima dos eletrodos de fusão, devido ao espaço necessário à movimentação destes e da ponte rolante. Na maioria das fábricas, a coifa fica suspensa a uma altura de 7 a 13 metros acima do forno ou fixadas no teto da fábrica. (3)

A coifa pode ser construída em seções com registros independentes para se poder variar a intensidade de exaustão em cada seção. Os registros podem ser pré-ajustados ou controlados por um operador que proverá uma taxa maior de exaustão nas áreas que receberem maior quantidade de fumos. (3).

Devido a impossibilidade prática de se instalar a coifa próxima ao forno, estes captadores exigem grandes vazões de controle para poderem operar eficientemente. As taxas de exaustão são várias vezes maiores que a necessária ao controle da fusão, aumentando significativamente os custos e o tamanho do equipamento de controle de poluentes.

A experiência mostra que os fornos maiores necessitam, proporcionalmente, de taxa de exaustão menores que os fornos de menor capacidade, devido ao fato que os fornos maiores geram um volume maior de ar aquecido, contendo uma força ascendente maior. (3).

Para fornos de capacidade muito pequena, o sistema de captação por coifa suspensa não opera eficientemente na maioria dos casos em razão do reduzido volume de ar aquecido que escapa do forno, possuindo pouca força ascensional.

Os captadores tipo coifa suspensa nem sempre garantem uma coleta eficiente dos fumos, pois durante o carregamento do forno, os fumos tem sua ascensão desviada pela caçamba de carga e pela ponte rolante.

Outro fator que concorre para a diminuição da eficiência deste tipo de captação é o efeito de tiragem cruzada (ventos laterais) que desviam os fumos para fora do captador.

Esta tiragem cruzada pode ser causada por correntes de ar que atravessam o galpão através de portas, janelas e aberturas, movimentação de veículos, etc...

A maioria das técnicas existentes para reduzir os

efeitos da tiragem cruzada e facilitar o fluxo ascendente dos fumos, tem aplicação predominante em fornos elétricos de grande capacidade operando em aciarias. Estes fornos apresentam em geral emissões maiores que a dos fornos elétricos menores, empregados em fundições.

É prática comum em aciarias, a instalação de aberturas (veja figura 9) imediatamente acima da coifa, para coletar os fumos que escaparam dela e que se acumulam sob o teto da fábrica.

Outra técnica que pode ser aplicada, emprega anteparos construídos em chapa metálica e que são colocados de maneira adequada para bloquear ao máximo as correntes de ar.

A instalação de um sistema de captação por coifa suspenso em uma fábrica já em operação, poderá exigir extensas modificações estruturais. O esqueleto e as vigas do teto da fábrica quase sempre necessitam ser modificados, reconstruídos e/ou reforçados para acomodar e suportar o peso do captor e sistema de dutos.

Dependendo de como é a fábrica, não há espaço suficiente entre o gindaste e o teto ou então a própria configuração do teto, por si só, não se adapta a instalação da coifa. Outro fator que deverá ser levado em consideração será o da necessidade de um espaço maior para o filtro de tecido de maior capacidade que o já existente, em virtude do volume maior do ar ser tratado. (3).

5.6.2.2. CAPTAÇÃO POR TROCAS DO AR AMBIENTE DA FÁBRICA

Este método consiste em operar sistemas de ventilação que trocam completamente o ar contido na fábrica, exaurindo os fumos emitidos do carregamento, vazamento e outras operações realizadas na aciaria ou fundição, até o equipamento de controle de poluentes.

Os fatores que determinam a instalação de um sistema de captação por trocas de ar ao invés de outro sistema qualquer, são os seguintes:

- (a) espaço insuficiente ou limitações estruturais ao emprego de captadores tipo coifa suspensa;
- (b) a configuração do forro da fábrica é ideal para uma troca de ar eficiente. Na maioria dos casos, o teto deve ser modificado para servir como um captor, como mostrado na figura 9;
- (c) emprego do referido sistema para fazer a exaustão completa do ar contido na fábrica, visando reduzir a concentração de poluentes, melhorar as condições do ambiente de trabalho e reduzir o desconforto térmico.

Ao se projetar um sistema deste tipo, deve-se atentar principalmente no controle do fluxo de ar através da fábrica e a manutenção de uma taxa de fluxo efetiva. O controle do fluxo pode ser melhorado isolando-se as fontes de emissão com o emprego de partições para fornecer um máximo de confinamento possível, como mostra a figura 10.

Para aciarias, cinco trocas de ar por hora são suficientes para a obtenção de uma atmosfera interna limpa. (3).

Há uma derivação deste sistema que consiste em enclausurar exteriormente as venezianas situadas no teto da fábrica, para que estas passem a funcionar como um captor e controlar assim as emissões do carregamento, vazamento, etc. Estes sistemas são projetados para a remoção dos fumos que ficam acumulados sob o teto da fábrica somente. Desta maneira, as emissões do carregamento, vazamento e outras, são coletadas com o emprego de uma taxa de exaustão algo menor que aquela do siste-

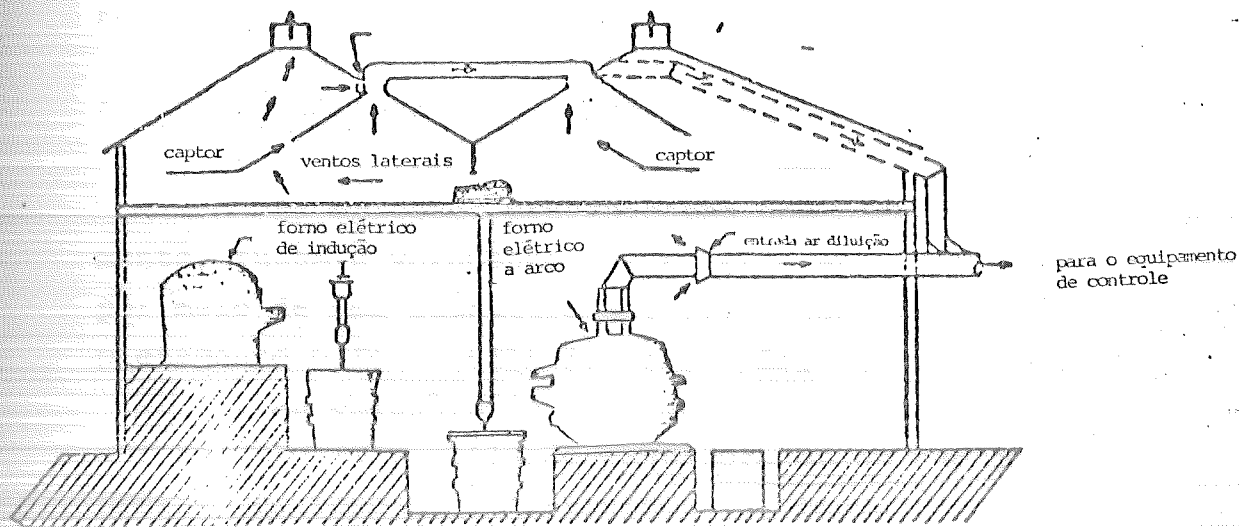


FIGURA 9 - Controle da operação de fornos elétricos a arco mediante sistema combinado de coifas suspensas e exaustão pela abóboda do forno (49 furo)

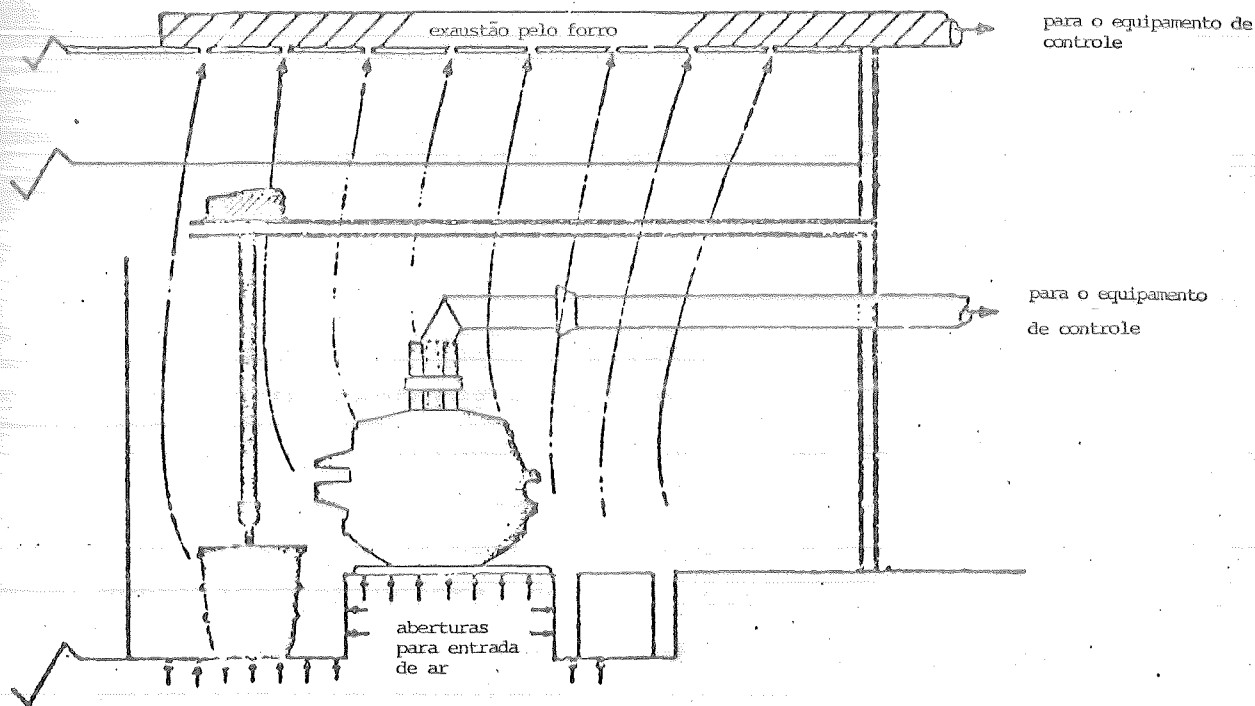


FIGURA 10 - Sistema de captação das emissões do carregamento/vazamento através da troca do ar ambiente da fábrica.

ma de exaustão completa.

5.6.2.3. ENCLAUSURAMENTO DOS FORNOS

As emissões provenientes das operações de carregamento, fusão e vazamento, serão eficientemente controladas por meio de uma estrutura metálica, que irá enclausurar completamente o forno elétrico e sua área de vazamento.

As emissões do carregamento e fusão são removidas por um duto de ventilação exaustora ou um captor, instalado próximo ao topo do enclausuramento, enquanto que as emissões do vazamento serão controladas por um captor independente, instalado no local. Durante a realização do vazamento, a vazão de controle do enclausuramento é desviada para o captor independente, colocado próximo a panela.

Este captor enclausurante é dotado de vários pares de portas deslizantes para facilitar o acesso da caçamba de carga pelos meios convencionais, a remoção da escoria, a adição de agentes corretores do banho e a injeção de oxigênio.

A primeira aplicação deste conceito de enclausuramento de fornos, foi realizada em 1976, em uma aciaria do Texas - E.U.A., (3).

Esta aciaria é dotada de dois fornos elétricos a arco de 60 t cada e os fornos foram enclausurados individualmente visando uma alternativa econômica à instalação de um sistema de captação por coifas suspensas para o controle das emissões do carregamento e vazamento.

Os captos enclausurantes coletam as emissões do carregamento e vazamento com um volume de ar que é 30% ou 40% daquele necessário por uma coifa suspensa, reduzindo consideravelmente os custos de capital e operação do sistema de ventilação exaustora, do exaustor e do equipamento de controle de poluentes. Esta economia é reduzida um pouco pelo maior custo de fabricação do enclausuramento, em relação aos sistemas de coifa suspensa ou de trocas de ar.

O emprego de captos enclausurantes elimina os efeitos prejudiciais da tiragem cruzada e do desvio dos fumos pela caçamba de carga. Ainda mais, notou-se um decréscimo na

intensidade do ruído gerado na área. A figura 11 ilustra o esquema do enclausuramento de fornos elétricos a arco.

Construído em chapas de aço rebitado cada captor enclausurante tem a forma de um cubo com o topo arredondado, medindo 13m de altura. (3). O enclausuramento contém o volume mínimo para proporcionar um espaço suficiente para a remoção da abóboda do forno durante a etapa de carregamento e para os eletrodos de fusão quando o forno bascula no vazamento. Na parte frontal do captor enclausurante há um par de grandes portas verticais, acionadas por cilindros pneumáticos, enquanto que a abertura horizontal localizada no topo do captor, para permitir o carregamento pelos meios convencionais, é acionada por um motor elétrico e cabos. O enclausuramento dispõe ainda de aberturas verticais menores, localizadas em sua parte inferior, para viabilizar as operações de manejo da escória, adição de agentes químicos e injeção de oxigênio.

No caso da aciaria processar rotineiramente sucata suja, recomenda-se aumentar a altura do enclausuramento para se evitar que as labaredas formadas pela combustão das impurezas carregadas, cheguem a danificar a estrutura do captor.

Os captores enclausurantes apresentam também uma alta eficiência de controle para as emissões geradas durante o ciclo de fusão. (3)

Embora o conceito do enclausuramento pareça ser o método mais eficaz para a captação das emissões do forno elétrico com uma vazão de controle mínima, poderá existir dificuldades em se adaptar esta tecnologia a fornos já em operação ou então a eficácia do sistema será abrandada por várias razões:

- (a) a falta de espaço adequado nas aciarias existentes poderá vetar a instalação do captor enclausurante, que é maior que o forno. O posicionamento correto do captor poderá ser prejudicado por paredes, fornos ou outro equipamento do processo;
- (b) em aciarias onde o forno está posicionado ao nível do piso da fábrica, o fosso de vazamento poderá ser muito pe-

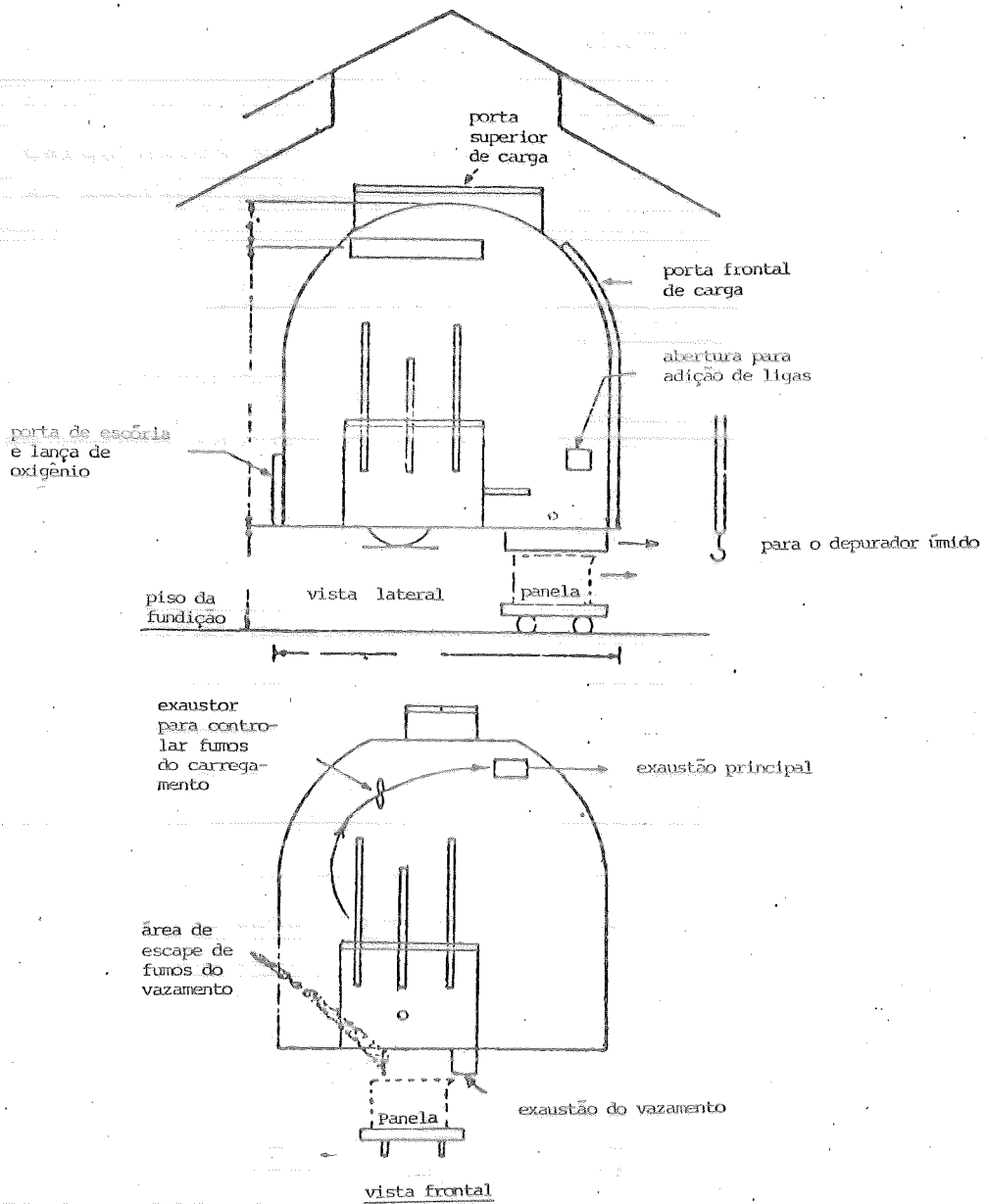


FIGURA 11 - Esquema para enclausuramento de fornos elétricos a arco

queno para comportar a vagoneta que levará a panela sob o enclausuramento;

- (c) esta tecnologia adapta-se melhor a fornos suspensos do piso da fábrica, por meio de plataformas;
- (d) conforme a localização e configuração dos guindastes de carga, estes serão incapazes de operar ao redor e dentro do enclausuramento.

5.6.2.4. CAPTAÇÃO EMPREGANDO CAPTORES ESPECIAIS

O conceito da captação o mais próximo possível da fonte poluidora, com o emprego de captosres especiais (3), é ilustrado pela figura 12. As emissões da fusão e refino são exauridas por um captor circular que confina completamente os eletrodos, melhorando muito a eficiência de coleta, com um mínimo de vazão de controle. As emissões do carregamento são controladas por um captor anelar. Este é projetado para se deslocar sobre o forno quando do carregamento, sendo deslocado para fora ao término do mesmo. Os fumos do carregamento são aspirados radialmente através das fendas instaladas na superfície interna do captor anelar. As fendas aumentam a velocidade de captação, melhorando a eficiência de controle. Durante o carregamento, a vazão de controle é desviada do captor enclausurante da abóboda, para o captor anelar, através de um registro instalado no sistema de ventilação exaustora.

As emissões do vazamento são controladas enclausurando-se a bica de vazamento com um captor tendo a forma de um perfil U invertido e fazendo-se a exaustão lateralmente. Durante o vazamento, a vazão de controle é desviada para este captor.

A vantagem deste sistema de captação é que o controle das emissões do carregamento e vazamento é realizado com vazões de controle bem menores que aquelas exigidas pelos sistemas de coifa suspensa ou de enclausuramento. Isto reduz significativamente os gastos com a depuração dos gases. (equipamento de controle menor). Outra vantagem é que este sistema é mais simples e consideravelmente mais barato de insta -

lar do que um captor enclausurante ou uma coifa suspensa. A desvantagem é que o sistema nem sempre proporciona um controle completo do carregamento/vazamento, porque os captadores não enclausuram completamente a fonte de emissão. (3).

As vazões de controle, para este tipo de sistema, assemelham-se àquelas empregadas em sistemas de captação convencional do tipo tiragem lateral. (3).

5.6.2.5. EMPREGO DE SUCATA LIMPA

As emissões geradas pelo carregamento do forno poderão ser reduzidas empregando-se somente sucata limpa nesta operação. Quando há o contato de sucata suja com o forno incandescente, o óleo e outras impurezas voláteis entram em combustão, liberando densas nuvens de fuligem e fumaça. A sucata oleosa pode causar um desgaste prematuro na abóboda, mais precisamente ao redor dos furos dos eletrodos, danificar captor e dutos do sistema de exaustão e entupir o tecido componente das mangas do filtro de tecido.

O emprego de uma sucata suja, de classe inferior, poderá aumentar as emissões globais do forno em até 100%. (3)

5.6.2.6. PRÉAQUECIMENTO E DESENGRAXAMENTO DA SUCATA

Os préaquecedores de sucata são equipamentos específicos ou fornos de indução que limpam a sucata a ser processada, removendo água e evitando problemas operacionais decorrentes do carregamento de sucata suja.

O préaquecedor mais eficiente é o do tipo transportador, (3) no qual a sucata situada sob um captor, sofre o contato com uma chama. Após esta etapa, o transportador descarrega a sucata limpa e quente, diretamente na caçamba de carga. Alguns tipos de préaquecedor são projetados com uma câmara de combustão secundária, que atua como um equipamento de controle do tipo pós-queimador, controlando as emissões deste equipamento.

A associação de um pré aquecedor do tipo transportador a um forno elétrico já em operação poderá exigir uma

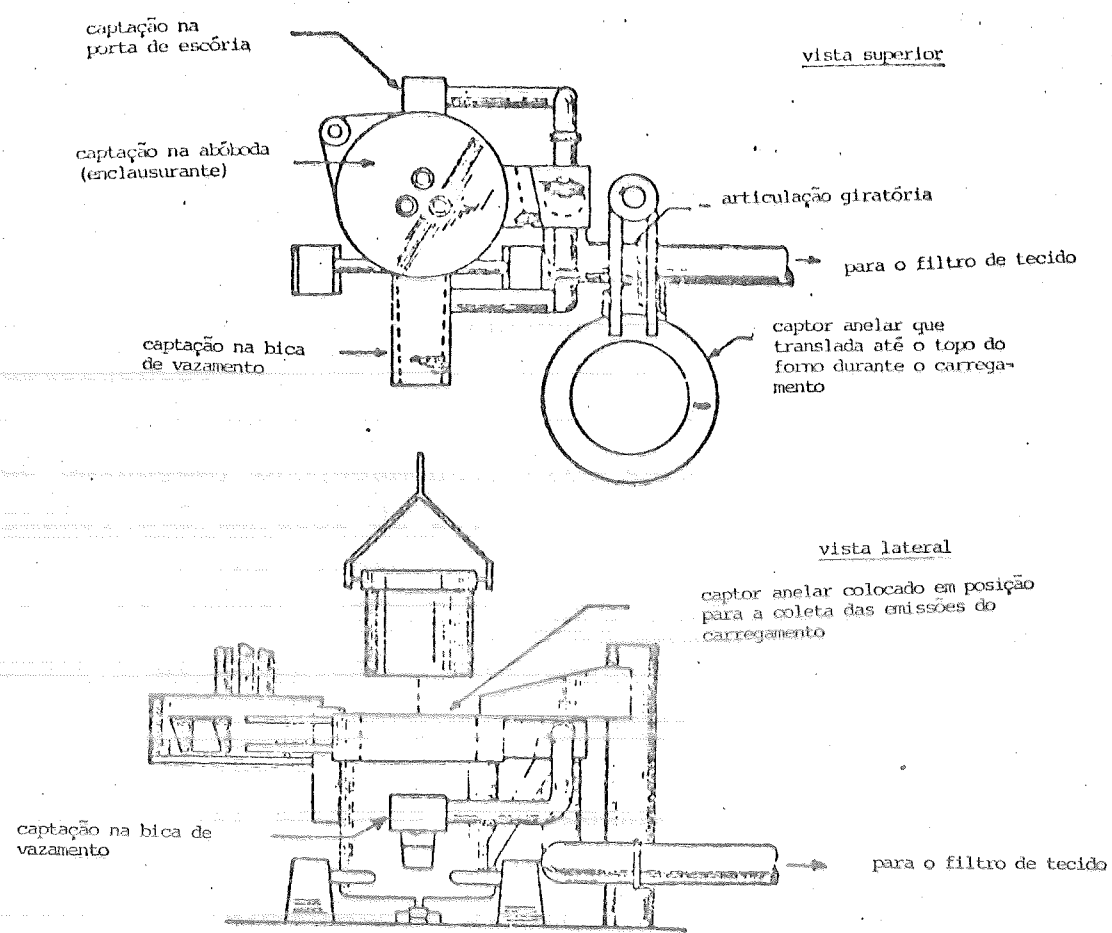


FIGURA 12 - Captor anelar especial para captura dos fumos do carregamento

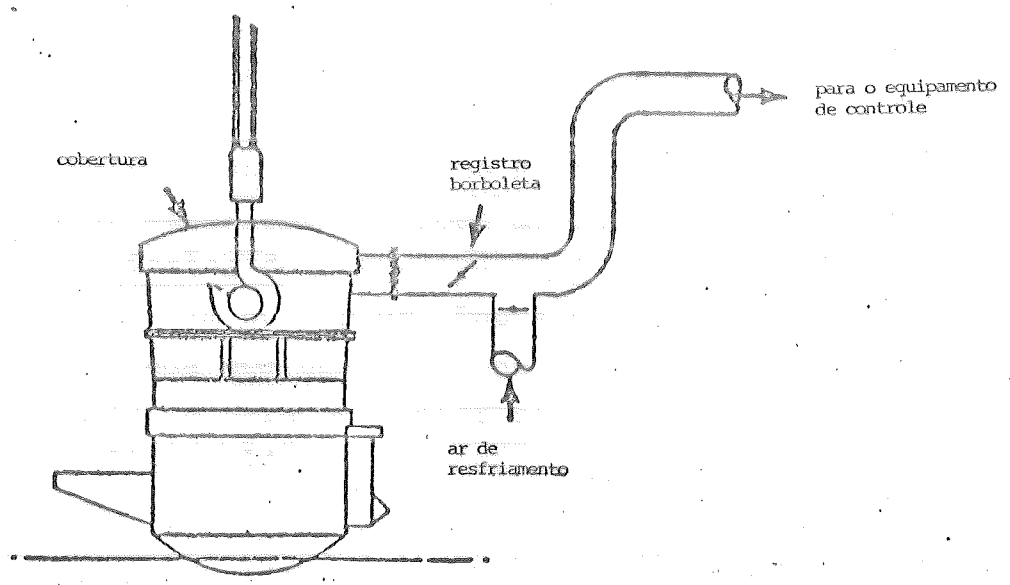


FIGURA 13 - Enclausuramento da caçamba de carga

reconstrução dos containers de sucata e do sistema de manejo da caçamba de sucata.

O processo de desengraxamento consiste na lavagem da sucata em um tanque contendo solvente ou uma solução de detergente.

Quantidades excessivas de óleo, contidas em aparas de usinagem, broqueamento, etc, serão removidas por centrifugação, até um teor de 2%.

A realização de desengraxamento em uma aciaria trará problemas de poluição ligados a disposição do solvente gasto e as emissões de hidrocarbonetos para a atmosfera. Portanto, a operação de desengraxamento da sucata não é considerada uma opção aceitável do ponto de vista ambiental, para a redução das emissões do carregamento de sucata suja.

5.6.2.7. COMPACTAÇÃO DA SUCATA

Quando a aciaria empregar sucata composta por aparas de usinagem e brocagem, esta deverá ser compactada para adquirir uma forma mais sólida, visando minimizar a rápida oxidação destas durante o carregamento, reduzindo as emissões. (3)

5.6.2.8. CAÇAMBA DE CARGA DOTADA DE CAPTOR

Este arranjo, mostrado na figura 13, é projetado de maneira a se fixar sobre o topo do forno, durante o carregamento. As emissões do carregamento passam através da caçamba de carga e entram no captor. Dessa maneira, a maioria dos fumos é coletada com uma vazão de controle bem inferior daquela necessária para um captor tipo coifa suspensa.

A figura 14 mostra outro arranjo similar, composto por um captor móvel, que pode ser fixado sobre a caçamba de carga ou suspenso sobre o forno por meio de ponte rolante. Este sistema, em termos de função, é muito similar a coifa suspensa, mas tem tamanho menor, podendo ser abaixada até próximo do forno, minimizando os volumes de ar necessários a captura dos fumos.

5.6.3. CONTROLE DAS EMISSÕES DO VAZAMENTO

A operação de vazamento de um forno elétrico a arco é realizada em um ciclo que se inicia com a elevação dos eletrodos de fusão, basculamento do forno da ordem de 45° e transferência do metal fundido através da bica de vazamento, até a panela de fundição. O metal líquido emite fagulhas e fumos metálicos.

As emissões do vazamento podem aumentar consideravelmente quando adiciona-se ligas à panela de fundição.

Alguns dos sistemas de captação descritos anteriormente para o controle das emissões do carregamento, isto é, coifas suspensas, trocas do ar ambiente da fábrica, enclausuramento do forno e captadores especiais, podem coletar também as emissões do vazamento. Porém, pode ocorrer uma situação em que a aciaria deseje controlar somente as emissões do vazamento.

Isto poderá ser realizado enclausurando e fazendo a exaustão do poço de vazamento ou instalando-se um captador no local.

5.6.3.1. ENCLAUSURAMENTO DO POÇO DE VAZAMENTO

A figura 15 mostra um esquema de enclausuramento do poço de vazamento. Neste projeto relativamente simples, o poço é enclausurado através de uma tampa removível por meios mecânicos, após a colocação da panela de fundição pelos meios convencionais.

Durante o basculamento, o metal flue da bica mais curta do forno para uma calha que sai da parede lateral do poço e despeja o metal na panela. As emissões geradas são aspiradas por um duto de exaustão situado próximo a boca do poço e que as transportam até o equipamento de controle.

A vazão que controla o forno durante o ciclo de fusão é desviada para o poço, fornecendo uma alta velocidade de captura para a remoção dos fumos. O enclausuramento é projetado de modos a minimizar as aberturas pelas quais os fumos possam escapar.

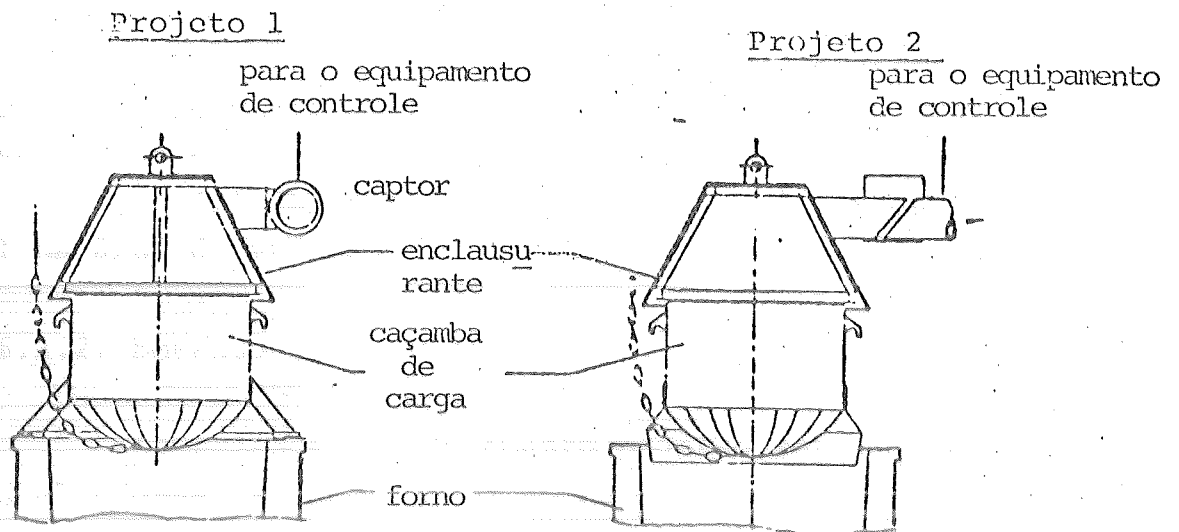


FIG. 14 - Sistema para controle das emissões do carregamento

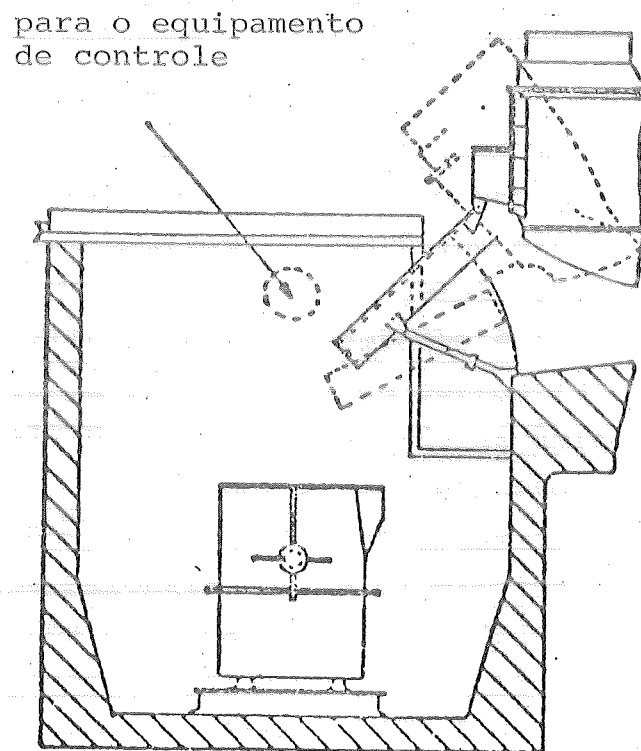


FIGURA 15 - Controle das emissões de vazamento através do enclausuramento do poço de vazamento.

Tal sistema apresenta uma alta eficiência de controle, na faixa de 90 a 100%, com uma média de 99%. (3). Esta tecnologia pode ser facilmente incorporada a uma aciaria em fase de projeto, porém, a sua instalação em uma aciaria já em operação irá depender fundamentalmente do espaço disponível na área de vazamento.

5.6.3.2. EMPREGO DE CAPTORES

As emissões do vazamento poderão ser controladas instalando-se captosres com a forma de pequenos guarda-chuvas imediatamente sobre a panela de fundição. A figura 16 mostra uma técnica na qual o carro que transporta a panela, recebe esta através da ponte rolante e é empurrado até ficar debaixo de um captor enclausurante. Outro sistema é mostrado pela figura 17. Neste, o controle do vazamento é realizado com a panela já assentada no poço de vazamento. Após o posicionamento desta, coloca-se um captor constituído de 2 partes, sobre a panela, ao redor dos cabos do guindaste. Ambos os sistemas exigem o emprego de dutos flexíveis ou que possam ser facilmente interligados.

5.6.4. EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUENTES

O filtro de tecido é o depurador mais empregado no controle das emissões de um forno elétrico a arco. Tal equipamento apresenta vantagens quanto ao custo global, simplicidade, confiabilidade, desempenho e facilidade de expansão. Dependendo da importância de outros fatores (espaço físico disponível, p.ex.), os depuradores úmidos de alta energia (venturi) podem tornar-se competitivos. (1)

Devido ao altos custos de instalação e alguns problemas operacionais (queda da eficiência de coleta para partículas submicrônicas, resistividade elétrica dos fumos, etc), os precipitadores eletrostáticos não tem sido muito empregados no controle de fornos elétrico a arco. (3).

As emissões de poluentes gerados durante as operações de carga e vazamento do forno elétrico representam somente 2% a 5% do peso total de emissões, porém, a descarga concentrada de fumos durante períodos de tempo relativamente

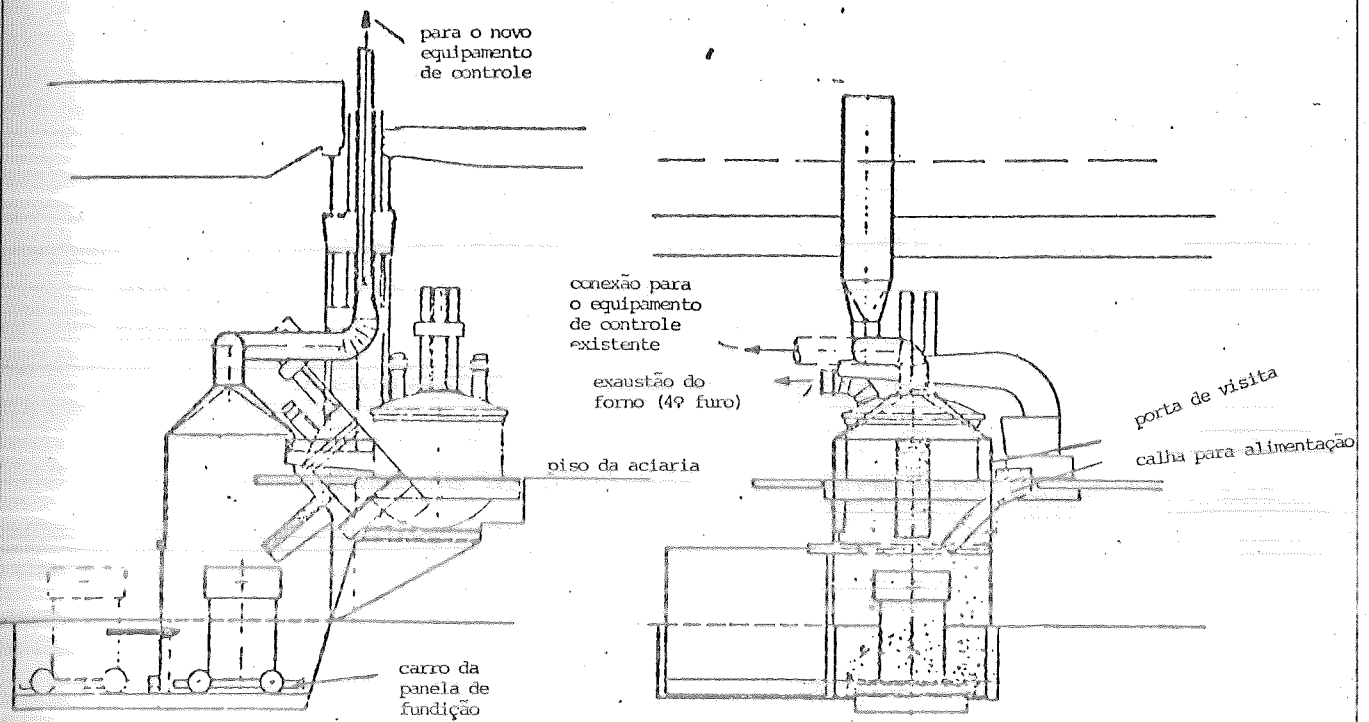


FIGURA 16 - Enclausuramento da panela de fundição

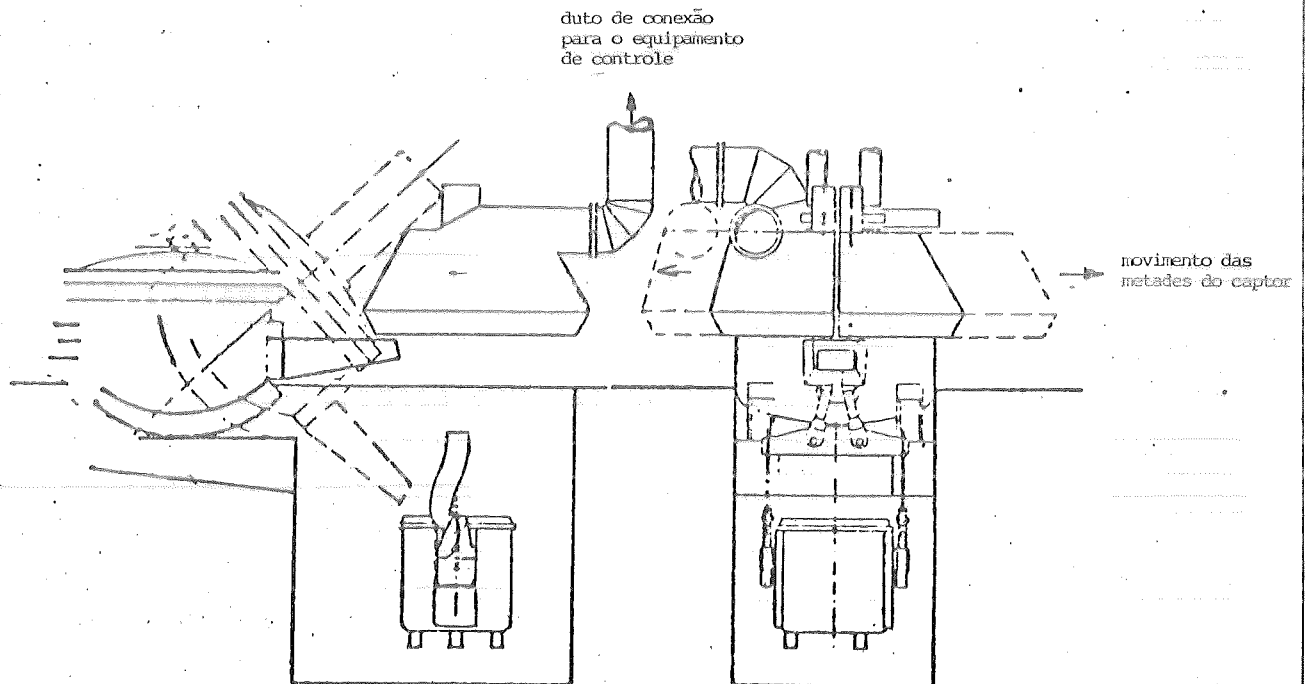


FIGURA 17 - Emprego de captores móveis para o controle das emissões do vazamento.

curtos, pode vir a ocasionar problemas de saúde ocupacional (ambiente do galpão fica saturado de poluentes) ou com a vizinhança (emissões visíveis pelas janelas e clarabóias do galpão).

Devido ao tipo de construção dos galpões em que ficam instalados os fornos, o controle destas emissões quase sempre fica restrito ao emprego de captores tipo coifa suspensa.

O emprego deste tipo de captor veio fortalecer ainda mais o emprego de filtros de tecido, por duas razões: (a) o grande volume de ar aspirado por este tipo de captor, não pode ser depurado economicamente por um depurador úmido de alta energia e (b) os grandes volumes de ar relativamente frio, aspirados pelas coifas suspensas, viabilizou a combinação de sistemas de exaustão compostos por exaustão direta pela abóboda (4º furo) e coifas suspensas (vide figura 9), pois ao misturar-se as vazões destes dois sistemas, há um resfriamento por diluição que deixa o volume gasoso a ser tratado com uma temperatura adequada a operação do filtro de tecido. (1).

A eficiência de coleta dos filtros de tecido é de 99,5% ou mais para o material particulado e fumos expelidos durante o ciclo de fusão de um forno elétrico a arco. Os depuradores úmidos apresentam uma eficiência variando de 95 a 99%, enquanto que os precipitadores eletrostáticos, 95%. (3)

5.7. OPERAÇÕES DE ACABAMENTO

5.7.1. LAMINADORES A FRIO

As emissões geradas pelos laminadores a frio de alta velocidade (névoas de óleo de resfriamento) poderão ser controladas por um captor simples ligado a um sistema de ventilação exaustora, que transporta as névoas até um equipamento de controle constituído por simples anteparos umidecidos. (1)

5.7.2. FORNOS DE ESPERA OU REAQUECIMENTO

As alternativas para o controle das emissões seriam a dessulfurização do combustível empregado nos maçaricos ou a mudança para combustíveis alternativos. (1).

5.7.3. ESCARFAGEM

Os equipamentos de controle mais empregados na operação de escaufagem são os depuradores úmidos de alta energia (venturi) e os precipitadores eletrostáticos úmidos. (1). Devida a distribuição granulométrica dos fumos, os depuradores úmidos deverão apresentar quedas de pressão da ordem de 1.500mm C.A. (1).

Os precipitadores eletrostáticos úmidos, embora apresentem um maior custo inicial, alcançam maiores eficiências de coleta, com um dispêndio menor de energia. Ambos os sistemas exigem um tratamento d'água.

Os precipitadores eletrostáticos secos tendem a sofrer severa corrosão causada pelo oxigênio que é exaurido da área de escaufagem.

5.7.4. DECAPAGEM

Na remoção das névoas ácidas geradas durante esta operação empregam-se torres com enchimento e depuradores úmidos de vários projetos. As eficiências de coleta costumam ser superiores a 95% para os agentes decapantes mais comuns, ou seja, os ácido sulfúrico e clorídrico. Esta eficiência diminui ligeiramente quando as névoas são da mistura ácida nítrico-fluorídrico, empregada na decapagem de aço inox. (1) Este último tipo de mistura ácida pode gerar emissões de dióxido de nitrogênio, exigindo portanto, o emprego de soluções de lavagem especiais.

5.7.5. GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

O controle das emissões da galvanização deverá ser realizado empregando-se captosres enclausurantes. Caso isto não seja possível, deve-se instalar captosres onde for possível, ou coifas suspensas sobre o banho. Os equipamentos de controle que podem depurar convenientemente os gases exauridos são do tipo precipitador eletrostático, depuradores úmidos de alta energia e filtros de tecido. (1).

Os precipitadores eletrostáticos são, em geral, antieconômicos para o controle de pequenas operações de galvanização. Os depuradores úmidos são os mais empregados porém exigem quedas de pressão da ordem de 1.500 mmC.A. para coleta eficientemente partículas tão pequenas. (1) Os filtros de tecido são também amplamente usados, mas deve-se tomar cuidados com as características deliquescentes dos fumos de galvanização, os quais poderão causar entupimento do tecido. As precauções para evitar tal problema é providenciar o aquecimento dos gases antes destes entrarem na casa do filtro e injetar um aditivo higroscópico à corrente gasosa com o propósito de absorver a umidade contida no cloreto de amônio.

ANEXO A - FORNOS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA
DO FERRO E AÇO

FORNOS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DO FERRO E AÇO

A.1. ALTO FORNO

A metalurgia do ferro consiste, basicamente, numa redução de seus óxidos por meio de um redutor, que geralmente é um combustível carbonoso.

Uma série de operações é realizada no interior do alto forno:

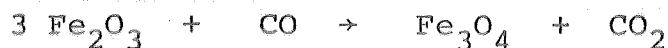
- redução de óxidos;
- carbonetação de ferro;
- fusão da ganga;
- fusão do gusa;
- redução parcial de certos elementos da ganga;
- dessulfurização do gusa.

O alto forno trabalha conforme o princípio de contra corrente, o gás redutor flui em sentido oposto ao movimento descendente da coluna de carga. O minério, o fundente e o coque carregados, através do processo transformam-se em: ferro gusa; escória; gás de alto forno e poeira.

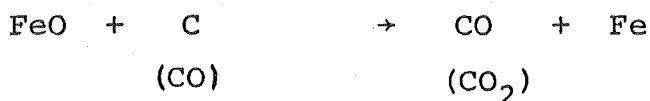
A primeira modificação sofrida pela carga é uma secagem com a remoção da água hidrocópica, a uma temperatura em torno de 150°C. A seguir ocorre uma remoção da água de hidratação entre 200 e 500°C.

A carga envolvida por uma atmosfera contendo o gás redutor (CO) desce para as regiões de temperaturas mais elevadas onde começa a redução indireta:

A primeira redução ocorre entre 400°C a 700°C:



- tendo início acima de 900°C:

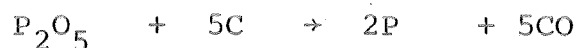
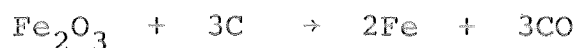


Nem todo o óxido é portanto reduzido indiretamente, uma parte chega sem modificações à zona de fusão.

A uma certa altura a carga constitui-se de uma mistura de cal e/ou magnésia, coque, ferro em estado esponjoso e quantidades variáveis de minério não reduzido.

Ao chegar à zona de fusão, que corresponde ao topo da rampa, a cal e a magnésia combinam-se com a ganga e com um pouco de ferro e manganês, formando parte da escória. Esta, juntamente com o ferro goteja através dos interstícios do coque até o cadinho.

Logo acima das ventaneiras, onde o material e a escória estão em contato com o coque incandescente, tem lugar as reações de redução direta:



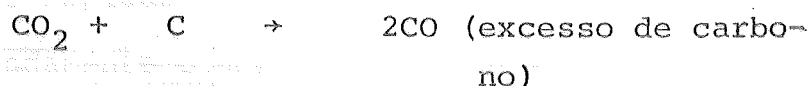
Estas reações se realizam a temperaturas entre 1200 e 1500°C e todas necessitam de calor, que é fornecido pela queima do coque. A máxima temperatura é obtida na região das ventaneiras, chegando próximo a 2000°C. Assim que o ferro metálico chega à zona de elevada temperatura da rampa, ele reage com o monóxido de carbono, e principalmente, com o coque incandescente: absorve carbono e forma carbone to de ferro, que se dissolve no ferro metálico, transformando-o em gusa.



No cadinho, a escória e o metal se separam por gravidade e formam duas camadas: a inferior, metálica, contendo o ferro gusa, e a superior, escória.

Na seqüência apresenta-se as reações químicas que ocorrem no interior do alto forno, considerando-se a ascensão dos gases pela cuba do alto forno:

a. Ventaneiras:



b. Reação de recarburação:



c. Redução direta:



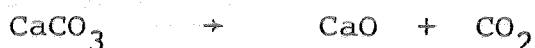
d. Reação de recarburação



e. Redução indireta:



A 800°C ou pouco mais tem lugar a calcinação do calcário ou dolomita, despreendendo-se dióxido de carbono:



A 900°C o carbono livre do combustível reduz o dióxido de carbono a monóxido.

A redução indireta, que é a obtenção do ferro a partir de seus óxidos, através de reação com o monóxido de

carbono formado pela combustão do coque, vai se tornando mais intensa, à medida que a coluna de carga vai descendo para as ventaneiras.

Os óxidos são reduzidos do grau máximo de oxidação (Fe_2O_3) até o grau mínimo (FeO), numa série de reações reversíveis e muito rápidas.

Simplificadamente podemos dividir o alto forno em três partes:

- a) uma zona onde se faz o pré-aquecimento de carga e as reduções dos óxidos de ferro;
- b) uma zona de fusão dos materiais;
- c) uma zona de combustão, alimentando as duas primeiras.

Desta forma podemos considerá-lo como um conjunto de 3 aparelhos bem distintos:

- um intercambiador químico e térmico;
- um forno de fusão;
- um elemento fornecedor de calor e redutor de gases.

A.1.1. CARACTERÍSTICAS DE UM ALTO FORNO

O volume entre o eixo do furo de vazamento até o nível de carga da guela, é denominado volume total do alto forno e a distância entre estes dois planos é chamada altura total. Em altos fornos modernos, com sistema de carregamento de cones duplos, a altura total é definida como a distância entre o eixo do furo de vazamento do gusa e a extremidade inferior do sino grande, quando na sua posição inferior (cone grande descido).

Compreende-se por volume útil de um alto forno, o volume compreendido entre a linha das ventaneiras e o nível da carga "stock line". A altura compreendida entre estes dois níveis é denominada altura útil do alto forno.

O revestimento interno é de material sílico-alumino

so, de alta qualidade. O refratário da guela é protegido, contra o impacto dos pedaços de carga, por placas de ferro ou aço fundido. Para prolongar a vida do refratário nas paredes da cuba, da rampa e do cadinho, existem caixas de resfriamento, dentro das quais circula a água de refrigeração.

O cadinho é a região do forno desde a parte inferior do furo de corrida de gusa até o eixo das ventaneiras.

A rampa é a parte cônica alargando-se, para cima, desde o eixo das ventaneiras até o começo da cuba.

A cuba é a parte cônica, estreitando-se para cima, até a parte superior cilíndrica, denominada guela.

A.1.2. DETALHES CONSTRUTIVOS

A.1.2.1. Cadinho - é a parte do forno situada abaixo do nível do furo de escória. Tem formato cilíndrico, uma chapa de aço bastante grossa sendo revestido internamente de tijolos refratários (sílico-aluminosos) ou blocos de carbono. Para melhor resistir à corrosão mecânica, às temperaturas elevadas e às pressões devidas ao peso da coluna de carga, é essencial prever-se o resfriamento do refratário. Para isto existem dois métodos corretamente utilizados:

a) Placas de resfriamento retangulares de ferro fundido, colocadas entre o refratário e a chapa de aço da blindagem externa; contém no seu interior tubos de aço, onde circula a água de resfriamento.

Apresenta o inconveniente de maior dificuldade de se descobrir e corrigir os eventuais vazamentos para o interior do forno, embora seja estatisticamente mais atrativo que o segundo método de refrigeração do cadinho.

b) Resfriamento por meio de chuveiros externos - o revestimento refratário é instalado bem junto à chapa de blindagem externa, resfriada por meio de um filme contínuo de água proveniente de chuveiros dispostos na parte superior da chapa do cadinho.

A.1.2.2. Furo de Corrida - A uma altura de cerca de 900 mm acima do nível do fundo do cadinho, a blindagem externa possui um furo de cerca de 300 x 250 mm, que dá acesso ao refratário sílico-aluminoso, assentando em forma de arco. O furo de corrida do gusa tem uma inclinação para o interior do forno da ordem de 15° a 20° e seu diâmetro na parte externa de 100 a 150 mm.

Para deixar sair o gusa líquido, o furo de corrida é aberto por uma perfuratriz ou com o auxílio de lança de oxigênio.

Depois do vazamento o furo de corrida é novamente tampado com massa refratária sob pressão, por meio de "candão de argila". Este consiste de um cilindro cheio de mistura refratária, suspenso de um braço móvel que coloca o cilindro em posição frontal ao furo de corrida, a massa é então expulsa sob pressão, vedando com segurança o referido orifício.

A.1.2.3. Furo de Corrida da Escória - os alto fornos modernos são, em geral, equipados com dois furos de escória, um colocado cerca de 150 mm mais elevado e a um certo ângulo do outro. O furo de corrida de escória consiste de: um elemento para refrigeração fixado à chaparia externa do cadinho e que tem um comprimento igual à espessura da parede de refratário, de resfriador intermediário que avança alguns centímetros no interior do forno e do tímpano do furo de escória.

Esta última peça está exposta às mais duras condições de trabalho num alto forno, toda a escória produzida (250 a 400 kg por tonelada de gusa a uma temperatura de 1400°C), passa por um orifício de 50 a 60 mm de diâmetro. Os orifícios de corrida de escória são feitos de cobre fundido, com circulação de água de resfriamento no seu interior e devem ajustar-se perfeitamente uns aos outros.

A.1.2.4. Ventaneiras - no terço superior do cadinho a cerca de 3 m do fundo está a zona das ventaneiras. Seu número nos alto fornos grandes (de 8 a 9 m de diâmetro), é da or-

dem de 20 a 22. É através delas que o ar pré-aquecido é injetado no interior do forno. O número de ventaneiras nos fornos americanos é, em geral, o dobro do número de colunas. O seu número deve ser o maior possível para se obter uma boa distribuição nas zonas individuais de combustão de cada ventaneira.

Junto a abertura circular do revestimento refratário, coloca-se o "resfriador-suporte" da ventaneira; é um anel de cobre, ôco, e refrigerado pela circulação da água.

A ventaneira propriamente dita é de cobre de formato cônico e resfriada a água, ajustando-se firmemente no bocal do anel de suporte e avançando alguns centímetros no interior do forno.

O comprimento total de uma ventaneira é da ordem de 800 mm, o diâmetro do orifício variável entre 150 e 200 mm, dependendo da produção desejada, isto é, do volume de ar injetado por hora.

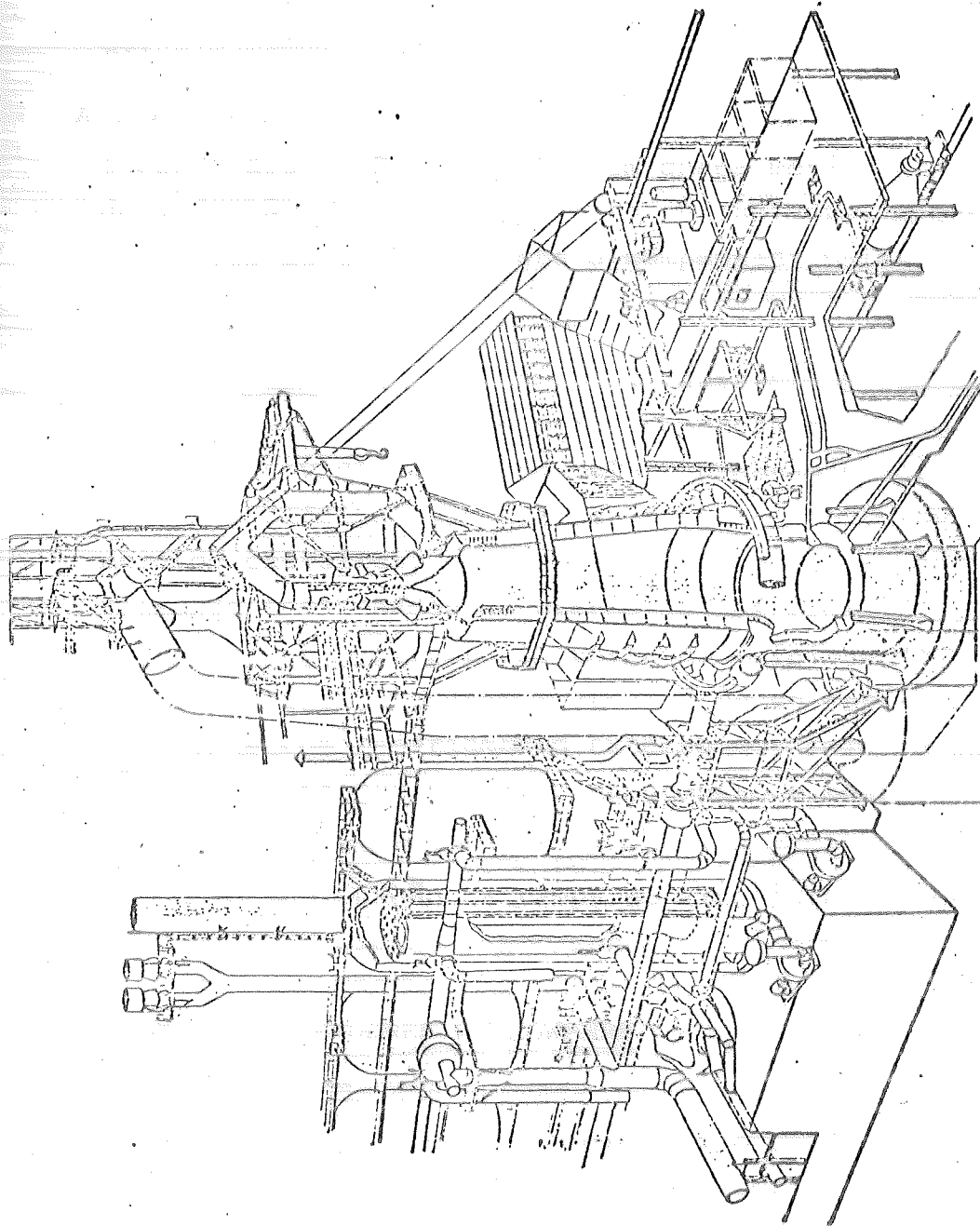
O ar pré-aquecido para alimentar a combustão do coque é introduzido sob pressão de até 1,5 atm, através de um tubo de ligação que une cada ventaneira ao anel de vento. Esta ligação é constituída de três peças: o algaraviz, o cotovelo e o tubo superior da ligação.

O algaraviz é de ferro fundido; recentemente, devido às temperaturas de sopro mais elevadas, tem-se usado aço inoxidável. Ambos os extremos do algaraviz são dotados de juntas em calota esférica para permitir o perfeito ajustamento, mesmo sob condições de expansão e de contração diversas causadas pela variação nas temperaturas do vento.

O cotovelo é pressionado por meio de um tirante e uma mola, ligados à carcaça do forno, contra o algaraviz.

Possue também, um olhal de observação através do qual pode-se introduzir uma barra de aço para limpeza da ventaneira.

O tubo superior se adapta ao cotovelo por meio de uma junta de calota esférica. A junção é mantida apertada



91

FIGURA A.2. - Disposição de um alto forno de grande capacidade, vendo-se a esquerda as ligações de ar para os regeneradores e a direita os canais de corrida de gusa e escória.

por meio de cavilhas introduzidas nos tirantes que suportam o cotovelo.

O tubo superior e o cotovelo são revestidos de material refratário, para evitar perdas de calor do ar aquecido.

A.1.2.5. Anel de Vento - circunda o forno e é suportado pela carcaça deste. É construído em chapa metálica e revestido de refratário sílico-aluminoso ou isolante. A expansão e contração do anel de vento é compensada pelas juntas que o unem às ventaneiras.

A.1.2.6. Rampa - O refratário da rampa é a parte do revestimento do alto forno que está submetida aos ataques mais severos, devido a ação do calor, pressão e ação da escória. Para sua refrigeração usa-se um resfriamento externo por meio de chuveiros, ou insere-se entre o refratário várias fileiras escalonadas de placas de resfriamento. Cintas de aço envolvem o refratário entre as fileiras de placas de resfriamento. A tendência atual é de se ter rampa em chapa soldada e com resfriamento externo por meio de chuveiros, devido à vantagem de menor manutenção e resfriamento mais uniforme.

A inclinação da rampa em alto fornos é da ordem de 80° a 82° em relação à horizontal.

A.1.3. REGENERADORES OU COWPERS

Antes de sua entrada no alto forno o ar necessário é aquecido, conseguindo-se então uma redução na quantidade de coque queimado no seu interior. Para esta finalidade utiliza-se uma parte dos gases que saem no topo do alto forno, o ar proveniente dos turbo-sopradores é pré-aquecido nos regeneradores a temperatura da ordem de 800 a 1200°C, e então, introduzido no forno, pelas ventaneiras.

Os regeneradores de calor são aparelhos para armazenamento de calor: absorvem-no durante o período em que o gás é queimado na câmara de combustão e cedem-no durante o

período em que o ar soprado os atravessa, no sentido inverso.

Normalmente um alto forno é equipado com 3 regeneradores, sendo dois em aquecimento e um cedendo calor ao ar soprado.

O regenerador é constituído de uma carcaça cilíndrica de chapa metálica, revestida internamente de tijolos refratários. Num dos lados existe a câmara de combustão de secção redonda ou oval, onde é queimado o gás de alto forno em mistura com o ar.

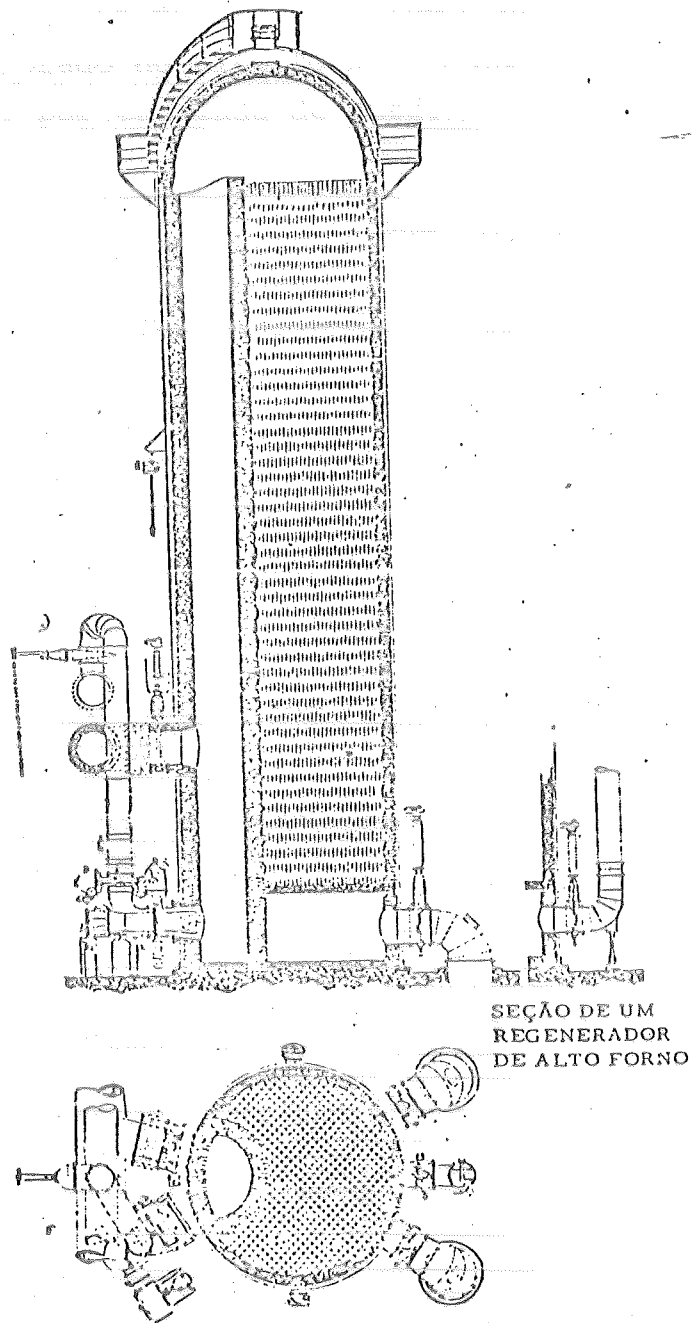
O restante do volume interno do regenerador é ocupado pelo empilhamento de tijolos refratários de formato especial, que podem ter desenhos e dimensões as mais variadas e formam canais com o máximo de superfície de aquecimento.

O empilhamento é suportado por grelhas ou grades de ferro fundido, cujos orifícios acompanham a forma dos canais dos tijolos e que repousam sobre colunas de ferro fundido.

O gás de alto forno, introduzido juntamente com o ar perto da base da câmara de combustão, queima no seu interior, muda de direção ao atingir a cúpula do regenerador e atravessa no sentido descendente o empilhamento; cede calor aos tijolos e sai para a chaminé a uma temperatura da ordem de 150 - 250°C.

Após certo tempo o refratário atinge temperaturas da ordem de 1200°C.

Na operação procura-se controlar o aquecimento do dômô do regenerador; um pirômetro ativa um alarme, quando a temperatura deste ultrapassa 1200°C; fecham-se então, as válvulas de entrada de gás e ar para o queimador, bem como a de saída para a chaminé. Abre-se o registro de entrada do vento que está localizado perto da base do regenerador, e também a ligação para o duto de ar quente. O ar soprado, ao atravessar as camadas de tijolos, vai se aquecendo, mu=



SEÇÃO DE UM
REGENERADOR
DE ALTO FORNO

FIGURA A.3. - Regenerador de alto forno

da de direção ao atingir a cúpula do regenerador e desce pelo duto da câmara de combustão, saindo no terço inferior desta, através da válvula de ar quente para o alto forno.

A temperatura do sopro é controlada automaticamente por meio de um par termoelétrico colocado na entrada do anel de vento. Em média, cada 100°C de aquecimento a mais no vento soprado no alto forno, reduz o consumo de coque de 20 a 40 kg. por tonelada de gusa.

A.2. FORNO REVERBERO (Siemens-Martin)

O forno Siemens Martin permite alcançar a fusão e depois o refino, de uma carga formada por uma mistura de sucata e gusa (sólido ou líquido) sobre uma soleira ácida ou básica, utilizando maçarico a óleo que fornece elevada temperatura.

Este é um forno de soleira, dotado de câmaras de recuperação, para aquecimento do ar e ou do gás pobre. Os gases queimados ao deixarem o forno, cedem calor às câmaras localizadas na outra extremidade.

No caso de aquecimento com óleo pesado, gás natural ou gás de coqueria, isto é, combustíveis de elevado poder calorífico, somente o ar é pré-aquecido, suprimindo-se o regenerador para o gás; a totalidade dos gases queimados passa por duas câmaras de recuperação, utilizadas alternadamente.

O forno Siemens Martin, compreende: soleira, abóbada, parede traseira com furo de corrida, parede dianteira com portas de carga, e os canais de fumaça para conduzir os gases da combustão aos regeneradores.

A operação deste forno é feita acima de 1600°C . Apenas a quantidade de calor, que os gases queimados possam transmitir à carga, é utilizada no forno propriamente dito, e a duração das operações será tanto menor, quanto maior for a temperatura do ar para a combustão, a temperatura da chama e a do banho. Daí a tendência a se obter uma chama o mais quente possível.

A temperatura no laboratório do forno dependerá da natureza do combustível (gás natural, óleo, gás de alto forno); do grau de pré-aquecimento do ar e do gás; do volume de ar admitido.

Sem pré-aquecimento do ar a chama atinge as seguintes temperaturas: 1400°C com gás de alto forno, 1600°C com gás de gerador, e 1900°C com gás de coqueria.

Para melhor utilização do combustível, principalmente no caso de gases de fraco poder calorífico, torna-se necessário pré-aquecer não só o ar mas também o gás pobre.

A.2.1. COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS

Diversos combustíveis são usados neste tipo de forno. O gás natural e o gás de coqueria, não são aquecidos. O gás pobre necessita de um pré-aquecimento nas câmaras de regeneração e de projeto mais sofisticado nas entradas de ar e de combustível. Os óleos pesados são provavelmente os combustíveis mais adequados à operação do forno Siemens-Martin; ao queimar produzem chama luminosa que irradia calor de forma adequada. A direção da chama pode ser controlada, quando se usa queimadores inclináveis, a fim de se obter máxima intensidade calorífica, completando-se a combustão quando a chama atingir 60 a 70% do comprimento do banho.

Para a atomização pode-se usar vapor com pressão de 10 a 14 atm; a quantidade de vapor necessário é da ordem de 1:1 em peso. Utiliza-se também ar comprimido entre 7 e 10 atm. Os combustíveis líquidos devem ser aquecidos antes de serem utilizados.

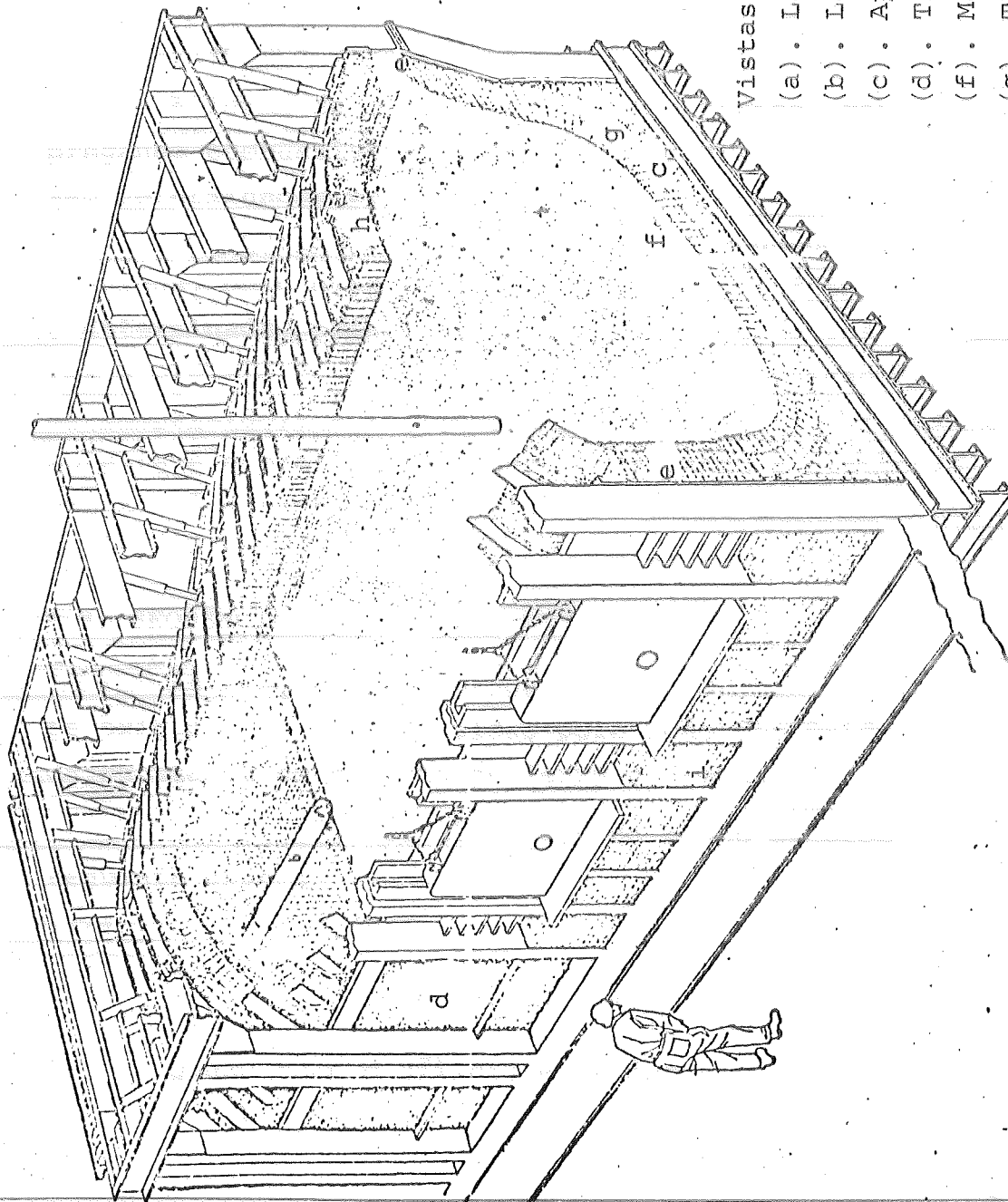
O óleo pré-aquecido, bombeado e bem atomizado, produz boa combustão, sendo a temperatura para recirculação nos tanques e linhas de 60°C e para uma boa atomização de 105 a 120°C.

A.2.2. UTILIZAÇÃO DO OXIGÊNIO

O oxigênio é usado para enriquecer o ar de combustão e para se obter melhor eficiência térmica (e assim reduzir o tempo de fusão da carga), e também em substituição ao minério de ferro, na fase da oxidação.

Existem várias maneiras de se levar o oxigênio ao interior do forno, das quais citaremos dois exemplos:

- pelos queimadores. Este método não é muito eficiente, pois o jato de oxigênio se dilui rapidamente na corrente gasosa;



— FIGURA A.4. —

Vistas em corte de um forno Siemens- Martin.

- (a). Lança suspensa na abóboda
- (b). Lança colocadas nas cabeceiras do forno
- (c). Apisoado de cromita
- (d). Tijolos de magnésia chapeados
- (f). Magnésia apisoada
- (g). Tijolos de magnésia
- (h). Tijolos de magnésia - cromita
- (i). Tijolos silico-aluminosos.

- por intermédio de lanças refrigeradas a água, introduzidas pelas extremidades do forno, até perto da superfície do banho.

Com a utilização dos regeneradores, as temperaturas reais da chama podem chegar a 1750 - 1950°C; porém, este não deve ser o único critério pois a irradiação tem ação preponderante no funcionamento do forno.

A transmissão de calor à carga se faz, em parte, pela convecção, mas principalmente pela irradiação. A eficiência da combustão exige uma chama luminosa, a qual é devida à presença de partículas de carbono, cujo diâmetro é da ordem de 0,3 microns e cuja temperatura é praticamente a mesma que a dos gases.

A forma da chama também é importante. Nos fornos empregando combustíveis gasosos, a forma e direção da chama são determinadas pelo contorno das cabeceiras do forno e perfil dos queimadores. Nos fornos empregando combustíveis líquidos, como óleo pesado ou alcatrão, a forma da chama é determinada, principalmente, pelo desenho dos queimadores e pressão de óleo e do fluido de atomização (vapor ou ar comprimido). A inclinação dos queimadores em relação à soleira e a profundidade desta, variando a distância da chama até o banho, tem influência sobre o intercâmbio de calor, tanto quanto o comprimento do laboratório do forno.

A. 2.3. SEQUÊNCIA DE REAÇÕES

As reações nos fornos Siemens-Martin, essencialmente oxidantes, são produzidas pela ação dos óxidos de ferro da sucata ou do minério de ferro carregado.

A oxidação dos elementos do banho se processa na seguinte ordem:

Silício



Quase todo o silício é oxidado, pois, no final da corrida, o banho tem menos de 0,01% de silício.

Manganês



Os teores residuais de manganês variam entre 0,10 e 0,25%.

Fósforo



O P_2O_5 na escória, combina-se com o CaO livre, para formar fosfatos de cálcio que são muito estáveis.

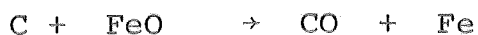


Entretanto, se as características da escória não são adequadas, o fósforo reverte rapidamente para o banho.

É necessário que se tenha escória com elevada basicidade, isto é, com uma relação de CaO para SiO_2 da ordem de 3:1, para reduzir os teores de fósforo a menos de 0,01%, sendo também preponderante a temperatura do banho, quanto menor, maior será a redução nos teores de fósforo.

Carbono

É oxidado depois do silício e do manganês

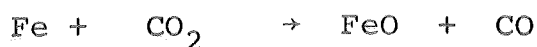


Enxofre



Ferro

É oxidado durante o período de fusão, pela ação da chama oxidante.



Depois da formação da escória, o banho metálico continua sendo oxidado pela transferência de oxigênio, através da escória por meio de óxidos de ferro.

A fase de refino se inicia, quando toda a carga metálica já se fundiu e o calcário, ao se transformar em cal, flutua sobre o metal fundido.

A ação do oxigênio resulta em: aumento da temperatura da chama e, portanto, da transmissão de calor pela irradiação e convecção; mistura mais intensiva do combustível com o comburente, resultando chama mais quente.

A.3. FORNOS ELÉTRICOS A ARCO

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.

Nos fornos elétricos a arco voltaico há transformação da energia elétrica em energia térmica. A corrente elétrica alternada passa por transformadores que baixam a voltagem para os limites entre 40 e 400 V; normalmente usados. A energia é levada aos eletrodos, de grafite ou carbono amorfo, por meio de terminais ou cabos flexíveis de cobre.

Os eletrodos penetram no forno através de aberturas na abóbada e podem ser movimentados verticalmente para cima e para baixo, graças a um sistema de regulação; o arco se forma entre o eletrodo e a carga, a sucata ou o banho líquido são incluídos no trajeto da corrente elétrica. Em consequência, durante a fusão da carga sólida, ocorrem fortes variações de corrente. Nos fornos elétricos a arco indireto, tal não acontece, pois nestes a distância entre as pontas dos eletrodos permanece praticamente constante.

A.3.1. TIPOS DE FORNOS A ARCO

A.3.1.1. FORNO A ARCO INDIRETO- O arco é feito entre 2 ou 3 eletrodos, sendo a transmissão de calor ao material conseguida pela irradiação, pois os eletrodos não mergulham na carga. O arco indireto é relativamente estável e constante, porém

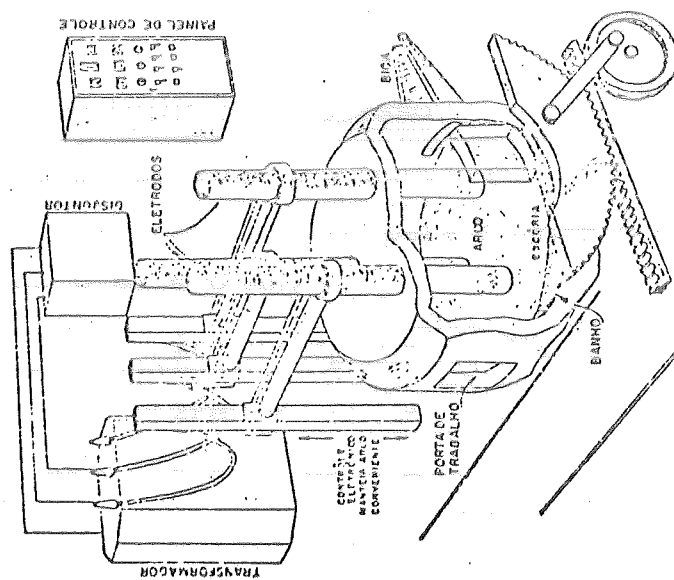
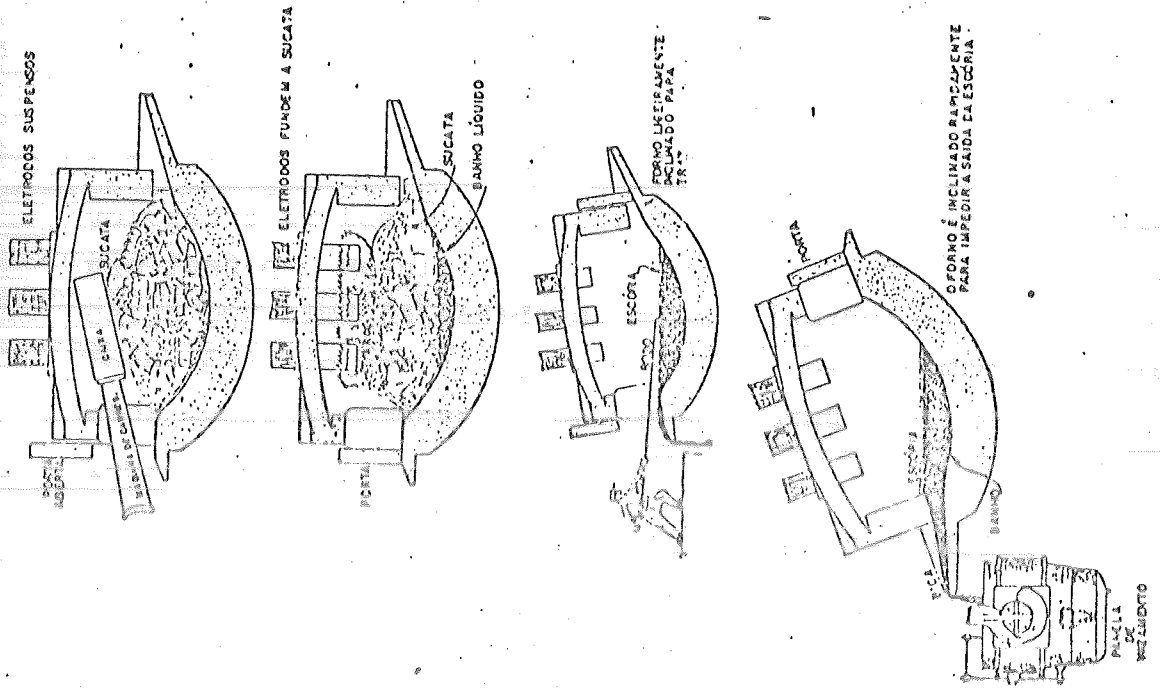


FIGURA A.5 - Esquema de forno elétrico a arco, mostrando a direita as fases de operação.

os consumos de energia são maiores que nos fornos a arco direto, pois apenas uma parte da energia irradiada atinge o material a fundir.

A.3.1.2. FORNOS A ARCO COM AQUECIMENTO POR RESISTÊNCIA - os arcos voltaicos se fazem no interior do material carregado ainda não fundido. Resulta num reflexo de corrente através da carga por cima da camada de metal líquido. Este tipo de forno é usado nas reações de escória para redução de minérios sendo normalmente denominado forno elétrico de redução.

A.3.1.3. FORNO A ARCO DIRETO - (sem aquecimento da soleira) - o arco se faz entre um dos eletrodos e o material carregado, o qual deve ser condutor de eletricidade.

A transmissão de calor é feita diretamente à carga.

A.4. CONVERSORES

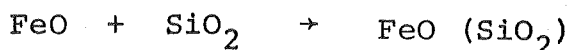
Em princípio a operação do conversor consiste na injeção de ar sob pressão através do banho de gusa líquido. O oxigênio do ar combina-se com o ferro, formando FeO que, por sua vez, se combina com o silício, o manganês e o carbono. Eliminam-se assim estas impurezas, sob a forma de escória (SiO_2 MnO) ou gás (CO) que queima na boca do conversor.

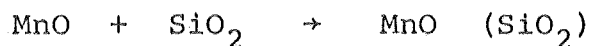
A.4.1. FÍSICO - QUÍMICA DO PROCESSO

A primeira fase é a da oxidação do silício. O oxigênio do ar reage com o ferro para formar o óxido, que se combina com o Si e o Mn.

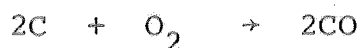


A sílica formada combina-se com o MnO e o FeO para formar a escória:





Neste período, que dura cerca de 4 a 5 minutos num conversor de 12 a 15t, uma chama curta e transparente se projeta pela boca do conversor: gradualmente aparece uma chama curta amarelo-avermelhada; indica o começo da oxidação do carbono, o qual pode oxidar-se diretamente para o CO ou CO₂:



O segundo período, ou a queima de carbono, é o da reação:



É durante este período que a chama atinge o máximo de brilho e de comprimento; chega a 9 e até a 12m; além da boca do conversor.

Se na chama aparecem manchas de branco brilhante, é sinal de banho demasiadamente quente. Se as características da chama são tais que indiquem uma corrida fria, é possível corrigi-la com o "sopro inclinado", basculando-se o conversor até que algumas ventaneiras fiquem expostas acima do banho metálico. Então, o CO passa a CO₂ ainda no interior do conversor, e o calor gerado pela reação tende a elevar a temperatura do banho.

Quando o metal é vazado do conversor para a panela adiciona-se ferro-manganês. O manganês contido reage com o óxido de ferro e com o sulfeto de ferro:



Se for utilizado ferro-manganês de alto carbono, pode acontecer "fervura" na panela, devido à liberação de monóxido de carbono:



Esta fervura tem a vantagem de homogenizar o metal

e melhor distribuir o manganês. Se o alumínio é usado para desoxidação, a reação é a seguinte:



A.4.2. CONVERSOR A OXIGÊNIO

O processo consiste em soprar verticalmente o oxigênio puro (com mais de 99,0% e com pressão entre 6 e 15atm) sobre a superfície do banho metálico, através de uma lança resfriada a água.

As temperaturas de reação nos conversores a oxigênio são bem mais elevadas que nos conversores comuns. Na zona de impacto do jato de oxigênio, a reação com o metal líquido é violenta e imediata, com temperaturas locais de 2.500 - 3000°C. Devido às diferenças de temperatura, concentração e peso específico, resulta uma enérgica movimentação do banho. Como a eficiência térmica do processo é muito boa, pois não há o peso morto de nitrogênio no gás soprado, pode-se usar qualquer tipo de gusa.

O carbono é eliminado rapidamente, tanto pela oxidação direta como pela difusão do FeO da escória para o metal líquido. O fósforo é eliminado antes do carbono. Não há dificuldade em reduzir o fósforo de cargas contendo até 0,25% para níveis de 0,015% trabalhando com uma só escória.

A remoção do enxofre é facilitada pelo contato íntimo entre o metal e escória, bem como pela escória estar mais quente e mais fluida.

O oxigênio quase puro empregado (99,5% de O₂) impede a absorção do nitrogênio: os aços de conversores a oxigênio possuem teores de nitrogênio inferiores a 0,002%, menos do que os aços Siemens-Martin normais, o que é de importância nas utilizações onde é fundamental a resistência ao envelhecimento e boa soldabilidade.

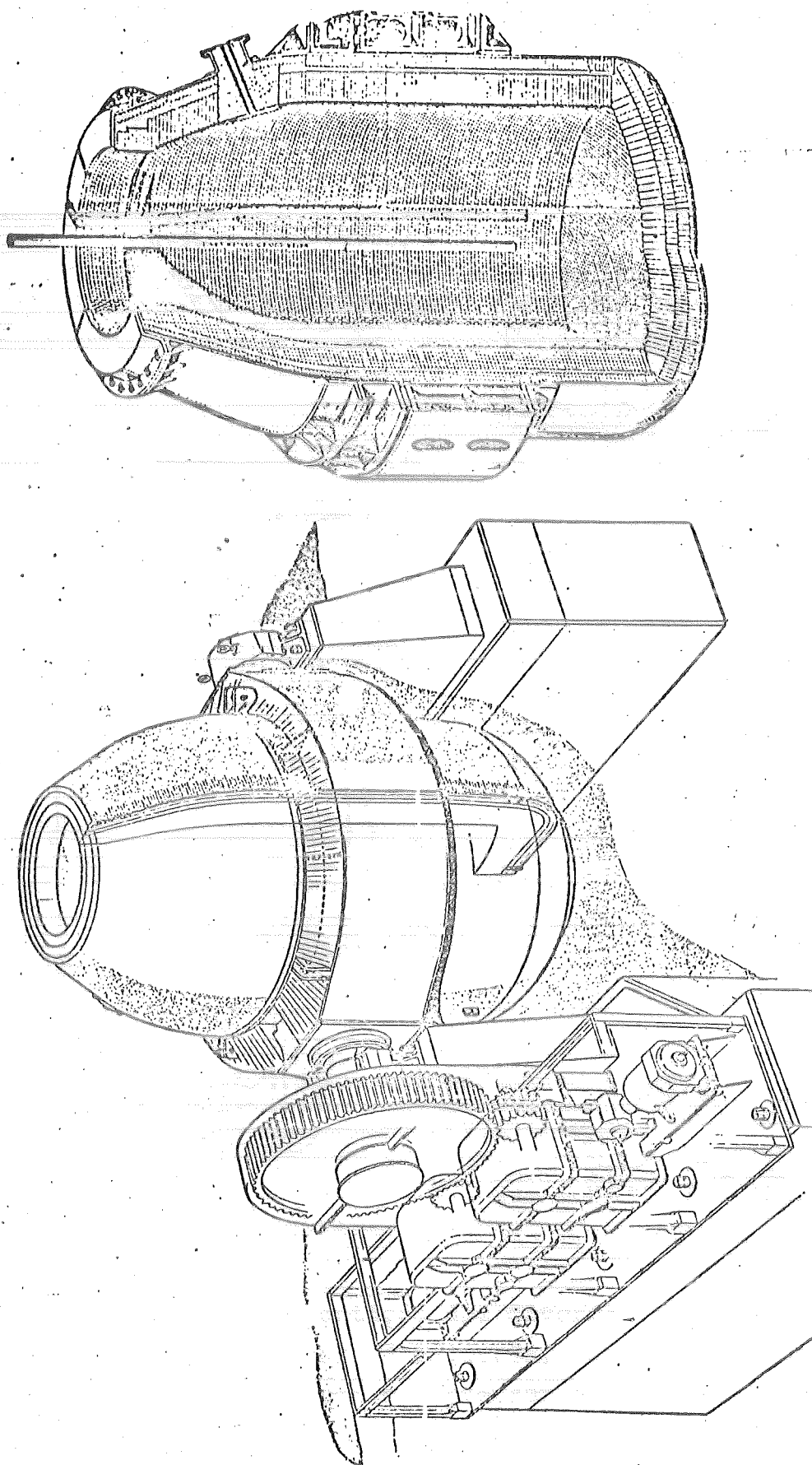


FIGURA A.6. - Arranjo esquemático de um conversor à oxigênio, vindo-se a direita a seção do mesmo mostrando a posição da lança de oxigênio resfriada a água e construção da carcaça e anel suporte.

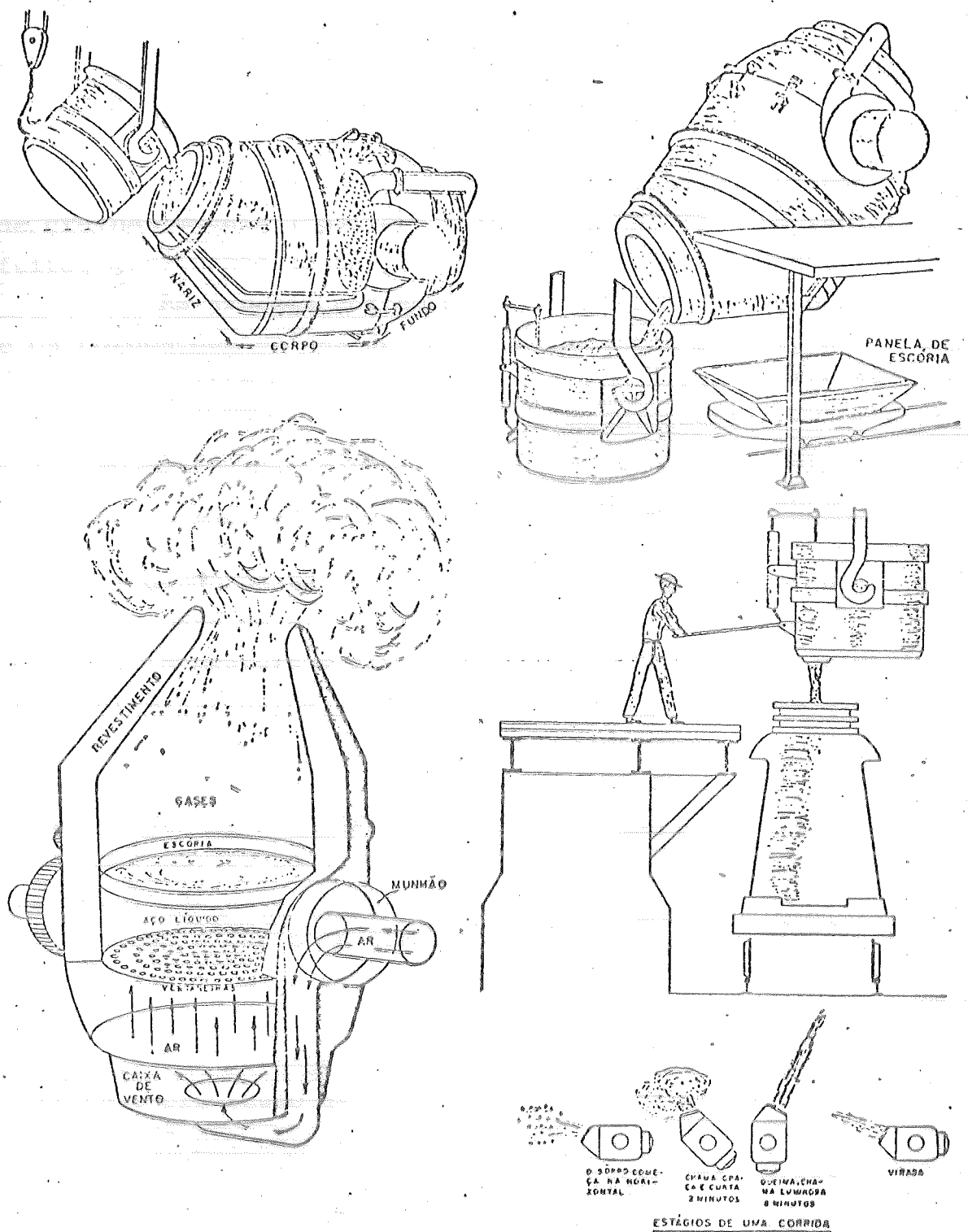


FIGURA A.7. - Representação das diversas etapas do processo Bessemer. à esquerda, carregamento do gusa líquido com o conversor inclinado. Ao centro, fase de sopragem. A direita, vazamento do aço, seguindo-se o lingotamento.

A.5. MÁQUINA DE SINTERIZAÇÃO CONTÍNUA "DWIGHT-LLOYD" COM TIRAGEM DESCENDENTE

A esteira de sinterização consiste num grande número de grelhas móveis ("pallets") formando uma correia sem fim; são feitas geralmente de ferro maleável ou ferro fundido.

As grelhas correm sobre roletes; a vedação entre elas e os bordos das caixas de vento subjacentes é feita por meio de duas superfícies planas injetadas com graxa grafitada ou por meio de uma tira de plástico especial resistente ao atrito.

Durante a sinterização, o ar é aspirado através a camada depositada sobre a grelha, passando pelos interstícios desta até as caixas de vento que são ligadas a um coletor principal, podendo passar ou não por um ciclone coletor de pó antes de ir para um exaustor de grande potência.

A mistura a sinterizar, depositada sobre as grelhas, deve ser distribuída uniformemente e a baixa altura (25 a 35 mm) de modo a ser obter o máximo de porosidade.

Para acender a carga, é necessário levar a camada superior a uma temperatura adequada para que o combustível comece a queimar, ou seja, a 800° - 1.000° C para o coque em pó. Normalmente, faz-se a ignição pelo contato direto com a chama de queimadores a gás ou a óleo, durante um período de 30 a 50 segundos, a fim de se obter na superfície da camada a sinterizar, temperatura suficientemente elevada para que, ao sair da coifa de ignição, a passagem de ar frio não extinga a combustão e permita o progresso da queima através a camada.

O processo de sinterização continua com o movimento lento dos "pallets" sobre as caixas de vento e o avanço da frente de chama através a camada a aglomerar, até chegar-se ao ponto de descarga. A operação propriamente dita termina quando a temperatura da última camada começa a decrescer.

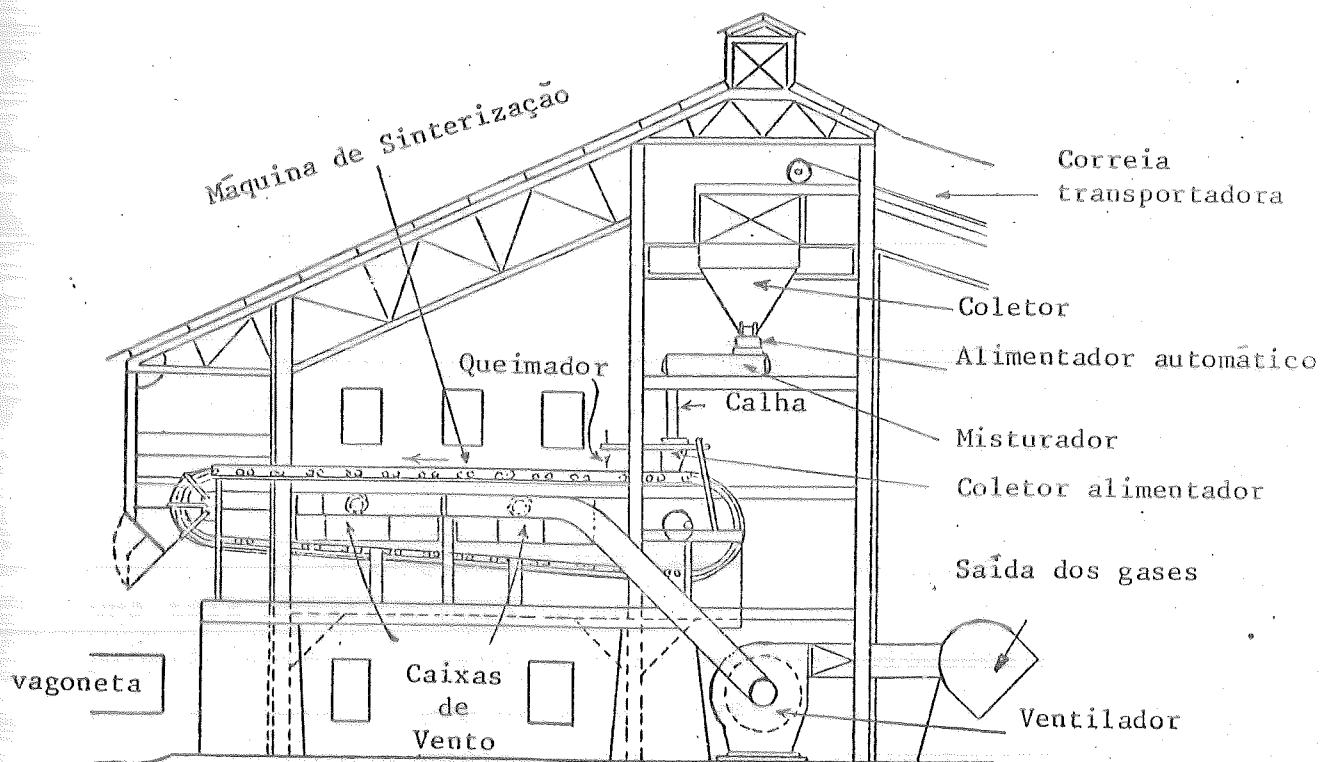
O sinter é descarregado ainda ao rubro, sendo quebrado por meio de um eixo dotado de pontas, em pedaços até 150 mm e depois peneirado para separar os finos entre 0-8 mm que são recirculados.

O peneiramento a quente é desejável, pois reduz a mas

sa a resfriar, produz um leito mais permeável à passagem do ar de resfriamento e remove os finos que de outra forma seriam arrastados e criariam um sério problema de poeiras e desgaste excessivo dos ventiladores do resfriador.

A parte final da máquina de sinterizar e a instalação de quebra do bolo de aglomerados são cobertas com uma coifa e dotadas de um sistema separado de coleta de pó.

FIGURA A.8. - Máquina de sinterização contínua "Dwight - Lloyd" com tiragem descendente.



A.6. FORNOS DE PELOTIZAÇÃO

É o processo de aglomerar o minério de ferro sob a forma esférica, depois de ser finamente moído, adicionada a umidade adequada e efetuado rolamento em tambores, discos ou cones. As esferas assim obtidas são submetidas a uma secagem e à queima, para consolidação.

As pelotas cruas são aglomerados esferoidais de partículas, obtidas mediante a ação de rolamento sobre uma superfície em movimento e a ação de um ligante intergranular líquido. Para a formação de pelotas cruas, exige-se do minério uma granulometria de 80% abaixo de 325 mesh e uma adição de água em torno de 10%.

A formação de pelotas cruas (em geral entre 10 e 15 mm de diâmetro), é obtida pela utilização de tambores, discos ou cones rotativos.

Quando da utilização de tambores, seu comprimento deve ser duas a tres vezes o seu diâmetro, sua inclinação entre 2% a 5% e a velocidade periférica pode variar entre 6 a 45 m/min. Na saída do tambor obtêm-se uma mistura de pelotas de diversos tamanhos; após o peneiramento, o material fino é recirculado.

O disco giratório consiste em um prato circular de 3,6 a 6 metros de diâmetro, com uma borda cilíndrica, inclinada cerca de 45° em relação a horizontal, que gira com velocidade de 5 - 10 rpm.

O cone por sua vez tem o seu interior revestido por uma tela metálica para formar uma camada de desgaste com o próprio material, sendo que raspadores colocados na parte superior limitam a deposição do revestimento.

Para a queima das pelotas usam-se fornos verticais; secagem em grelha móvel, seguida de queima em fornos rotativos como os de cimento, ou esteira de sinterizar com aquecimento o gás ou a óleo.

Os fornos verticais foram concebidos para tratamento de concentrados de magnetita. Um forno comercial tem cerca de 13 metros de altura, com seção retangular de 2 x 4,5 metros e uma produção nominal de pelotas de 50 t/hora. A parte su-

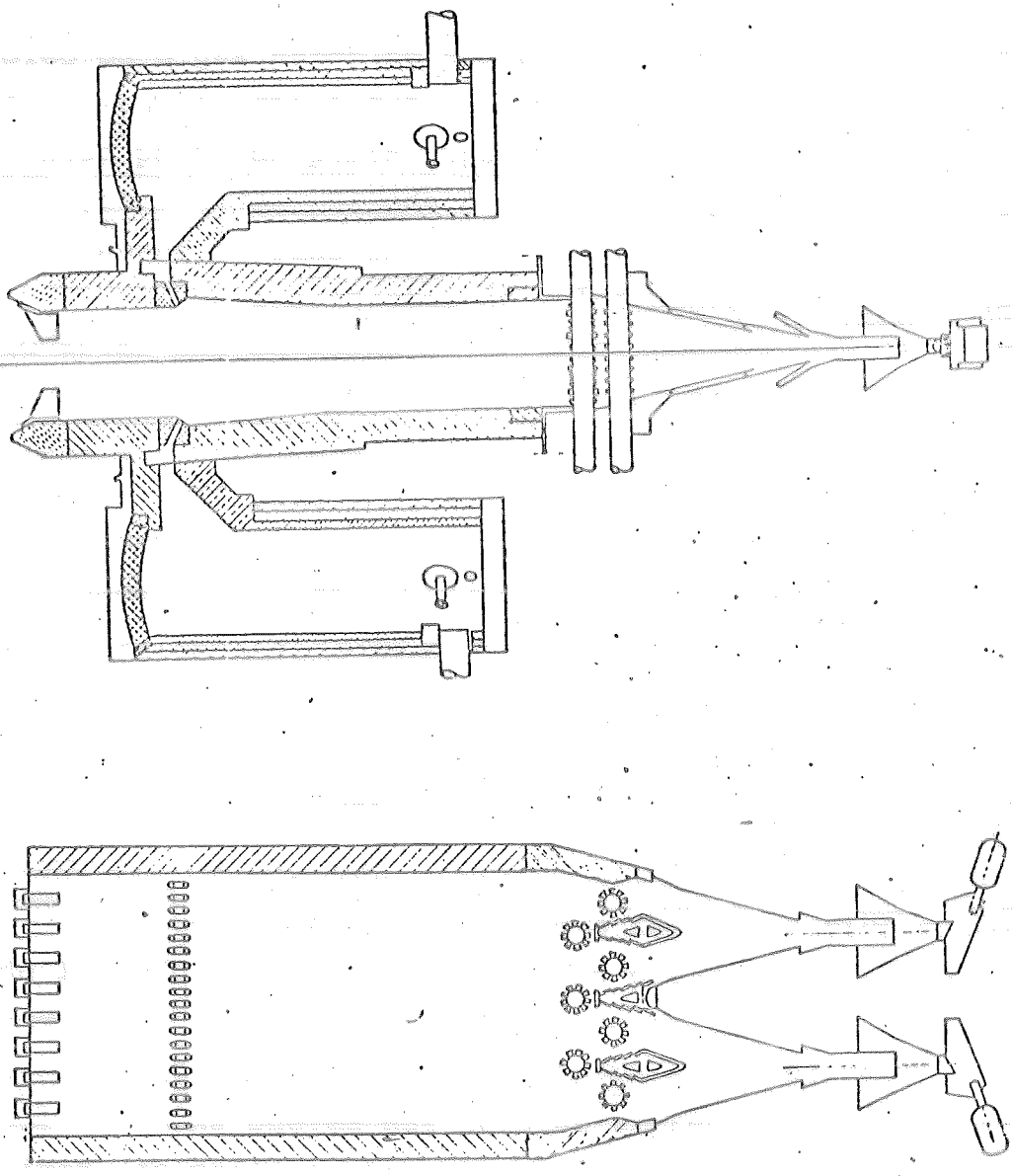


FIGURA A.9. - Seções de um forno vertical para pelotização, mostrando as câmaras laterais de combustão, os orifícios de entrada dos gases perto da parte superior do forno e os rolos dentados para quebrar os cachos de pelotas formados durante a queima.

perior do forno é revestida de tijolos sílico-aluminosos e a parte inferior, de tijolos resistentes a abrasão.

Ao longo dos lados maiores da cuba, estão as camaras de combustão, revestidas de refratário e onde é queimado o óleo ou o gás usado no processo. Os gases quentes resultantes da combustão são introduzidos no forno através das janelas situadas perto da parte superior das camaras. As pelotas cruas são alimentadas por uma correia transportadora pantográfica e atravessam o forno em contra corrente com os gases.

Dois conjuntos de rolos dentados são instalados logo acima das entradas de ar frio para quebrar os cachos de pelotas formados durante a queima. O material descarregado é peneriado e os finos são reciclados.

No processo de queima das pelotas empregando o conjunto grelha móvel - forno rotativo, as pelotas cruas são alimentadas sobre uma grelha contínua, para a secagem e preaquecimento, aproveitando-se o calor dos gases do forno rotativo. O material já aquecido vai ao forno rotativo onde é levado à temperatura de aglomeração, passando depois a um resfriador e à instalação de peneiramento. O calor sensível do ar usado para o resfriamento é aproveitado utilizando-o como ar secundário para a combustão no forno rotativo, que pode atingir temperaturas da ordem de $1.320 - 1.370^{\circ}\text{C}$.

Os gases, ao deixarem o forno rotativo estão a cerca de 1.070°C , passam pela parte do pré-aquecimento da grelha e saem a 350°C aproximadamente; seguem então pela zona de secagem, antes de serem expelidos para a atmosfera.

Na queima das pelotas empregando a esteira de sintetizar, as pelotas atravessam várias zonas de temperatura que asseguram sucessivamente, a secagem o cozimento e o resfriamento.

Comumente a secagem da carga se faz pela sopragem de ar quente de baixo para cima, a zona de queima é de aspiração (cima para baixo), sendo as pelotas a seguir restriadas por meio de ar, aspirado através da grelha. O ar aquecido assim obtido é aproveitado para o circuito de secagem.

A.7. COQUERIAS

A coqueificação é o processo de aquecimento do carvão, obtendo-se como resultado, um resíduo sólido, poroso, carbonoso, juntamente com a evolução de certo número de produtos voláteis que escapam da camara de coqueificação.

Enquanto, no processo de colmeias, o calor de carbonização é produzido pela combustão dos produtos voláteis juntamente com parte do carvão ou coque, nos fornos de coque com recuperação de sub-produtos, a carga é aquecida em camara inteiramente fechada, exceto pelas saídas para os produtos voláteis.

Os fornos de coque, com aproveitamento de sub-produtos, são constituídos de camaras alongadas, aquecidas pela queima de gás combustível, em canais ou dutos executados nas paredes de tijolos de sílica, que separam uma da outra, as camaras de coqueificação.

As camaras de coqueificação tem as suas paredes de sílica; alargam-se uniforme e progressivamente, do lado da máquina empurradora para o lado de descarga do coque.

Estas camaras de coqueificação são agrupadas em baterias de até 100 fornos (coqueria), para maior economia de calor e de espaço, permitindo assim, colocar os fornos de coque e os dutos do aquecimento dos mesmos.

Sob as células de coqueificação, estão as camaras de regeneradores, contendo empilhamento de tijolos que armazenam o calor dos gases queimados e que, depois de invertido o sentido de movimento dos gases, servem para aquecer o ar de combustão.

Ambos os extremos da camara de coqueificação são fechados por meio de portas que são removidas para permitir o empurramento do coque. Durante o aquecimento do carvão e sua conversão em coque, as portas são aferrolhadas no lugar e bem vedadas para evitar o vazamento de gás.

Para o carregamento do carvão, existem 3 a 4 orifícios no topo da camara de coqueificação, fechados com tampas de ferro fundido.

A mistura de carvão a ser convertida em coque é

levada à torre de carvão, localizada em um dos extremos da bateria. Dos silos da torre de carvão, a mistura é carregada nas tremonhas do carro de alimentação ("larry car"), havendo uma tremonha para cada orifício de carregamento.

Em geral, durante o seu carregamento na torre de carvão, o carro de alimentação repousa sobre uma balança, o que permite se ter o controle preciso do carvão carregado em cada forno.

O "larry car" movimenta-se para o forno a ser carregado, retiram-se as tampas de ferro fundido dos orifícios de enchimento e o carvão é descarregado na camara de coqueificação.

As camaras de coque são carregadas e desenformadas numa sequência pré-determinada. Fornos contíguos nunca são descarregados ao mesmo tempo, pois a queda de temperatura na parede intermediária, seria muito grande, havendo danos ao refratário e aquecimento desuniforme. Assim, escolhe-se uma sequência de desenformamento, com vários fornos separando os que são esvaziados.

A coqueificação é completada, em média, em 17 a 18 horas. Terminada a coqueificação, as portas são retiradas, a máquina desenformadora é colocada em posição, bem como, do outro lado da bateria, tomam lugar o carro guia de coque e o carro de apagamento.

A desenformadora é uma estrutura móvel que leva o empurrador, a barra niveladora e o mecanismo de retirada da porta. Os trilhos sobre os quais ela se desloca correm ao longo da bateria, paralelamente à face dos fornos de coque.

O empurrador consiste em pesada viga de aço, dotada de cremalheira acionada por motor de corrente contínua. O coque é forçado para fora da camara de coqueificação por meio da cabeça de ariete do empurrador que tem seção quase igual à da porta de carga.

À medida que uma camara de coque vai sendo esvaziada pela ação da desenformadora, o carro de apagamento move-se lentamente sobre seus trilhos, de modo a distribuir o coque uniformemente ao longo de todo o comprimento do carro.

Esvaziado o forno, o carro de apagamento desloca-se para a torre de extinção, onde o coque incandescente é apagado por meio de jatos d'água sob pressão.

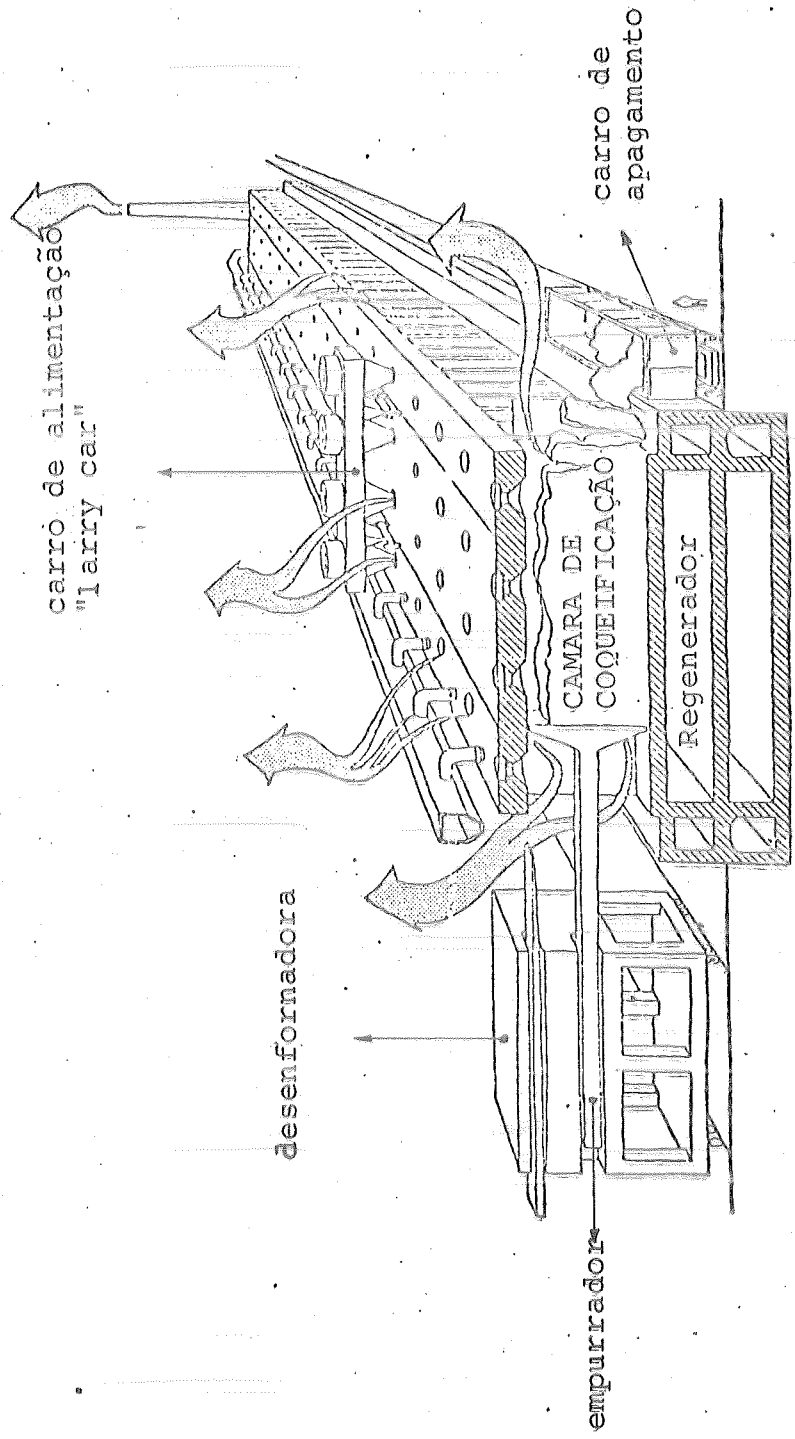


FIGURA A.12. Vista de uma coqueria onde as setas representam pontos de emissão de poluentes.

ANEXO B - EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUENTES

B.1. COLETORES CENTRÍFUGOS SECOS - CICLONES

Ciclone é o nome genérico do coletor centrífugo, onde as partículas são removidas do fluxo gasoso pela ação da força centrífuga. Este tipo de equipamento tem sido considerado como um dos mais simples e economicos separadores de material particulado. Os ciclones tem adquirido diferentes formas e tamanhos e tem sido empregados amplamente na indústria tanto como coletor primário quanto secundário. O tipo convencional não apresenta partes móveis, podendo ser construído de diversos materiais, não apresentando desta forma problema com a temperatura ou propriedades corrosivas de certos gases.

As principais vantagens na utilização de ciclones residem no seu baixo custo, na baixa potência consumida, na simplicidade de seu projeto, manutenção e construção, e na inexistência de uma temperatura de gases que seja limitante. As principais desvantagens são a baixa eficiência de coleta para partículas inferiores a 5µm, a abrasão excessiva e a possibilidade de entupimento pela presença de altas concentrações de poeiras, principalmente as de menor diâmetro, mais moles, mais higroscópicas e mais pegajosas.

B.1.1. CARACTERÍSTICAS DOS CICLONES

Um ciclone simples é basicamente constituído por 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, localizada 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 a perda de eficiência do equipamento.

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.

B.1.2. TIPOS DE COLETORES CENTRÍFUGOS

Como visto anteriormente, vários são os tipos de coletores centrífugos. Contudo, os mais comuns são:

- . Ciclone simples de entrada tangencial
- . Ciclone simples de entrada envolvente
- . Ciclone simples de entrada curva
- . Ciclone simples de entrada axial
- . Ciclone simples de corpo cilíndrico
- . Ciclone simples de corpo cilíndrico/cônico
- . Ciclone simples de corpo curvo

Dentre estes coletores, o de entrada tangencial é o mais utilizado na prática.

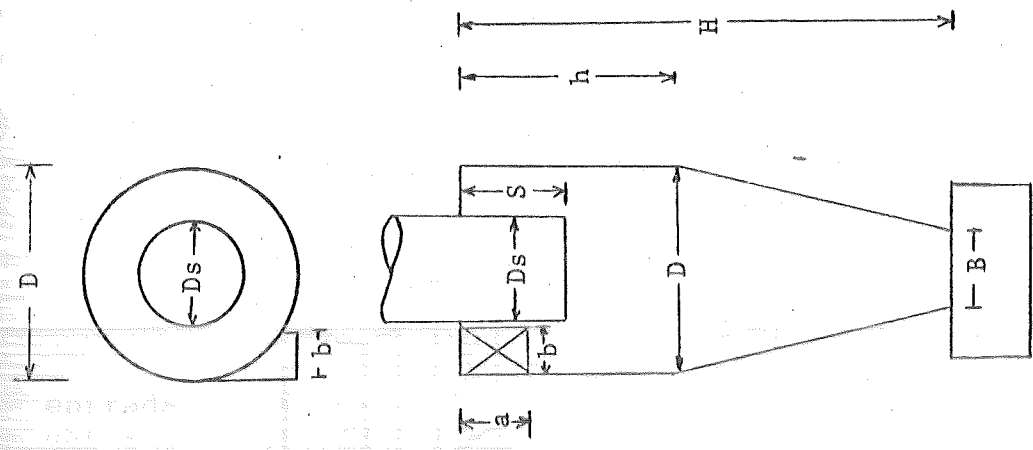
As dimensões do ciclone são geralmente caracterizadas como uma função do diâmetro do corpo cilíndrico. Por exemplo, a altura total dos ciclones, segundo Lapple, é igual a 4 diâmetros ($H = 4D$).

Diversas configurações tem sido propostas e testadas experimentalmente, na tentativa de caracterização de "famílias de ciclones". Algumas destas configurações estão apresentadas na tabela B.1, definindo famílias de ciclones, segundo seus autores.

TABELA B.1-Configurações padronizadas de ciclones como uma função do diâmetro do corpo cilíndrico, segundo os autores.

ELEMENTO CARACTERÍSTICO	SÍMBOLO	Autor	
		LAPPLE STAIRMAND	SWIFT
Diâmetro do Corpo Cilíndrico	D	1,0	1,0
Altura de Entrada	a	0,5 D	0,44 D
Largura de Entrada	b	0,25 D	0,21 D
Profundidade do Duto de Saída	S	0,625D	0,5 D
Diâmetro do Duto de Saída	Ds	0,5 D	0,4 D
Altura do Corpo Cilíndrico	h	2,0 D	1,4 D
Altura Total	H	4,0 D	3,9 D
Diâmetro do Duto de Descarga do Pó	B	0,25 D	0,375 D

Fonte.: Hasegawa, P.T. Coletores centrífugos secos, FSP/USP (mimeografado)



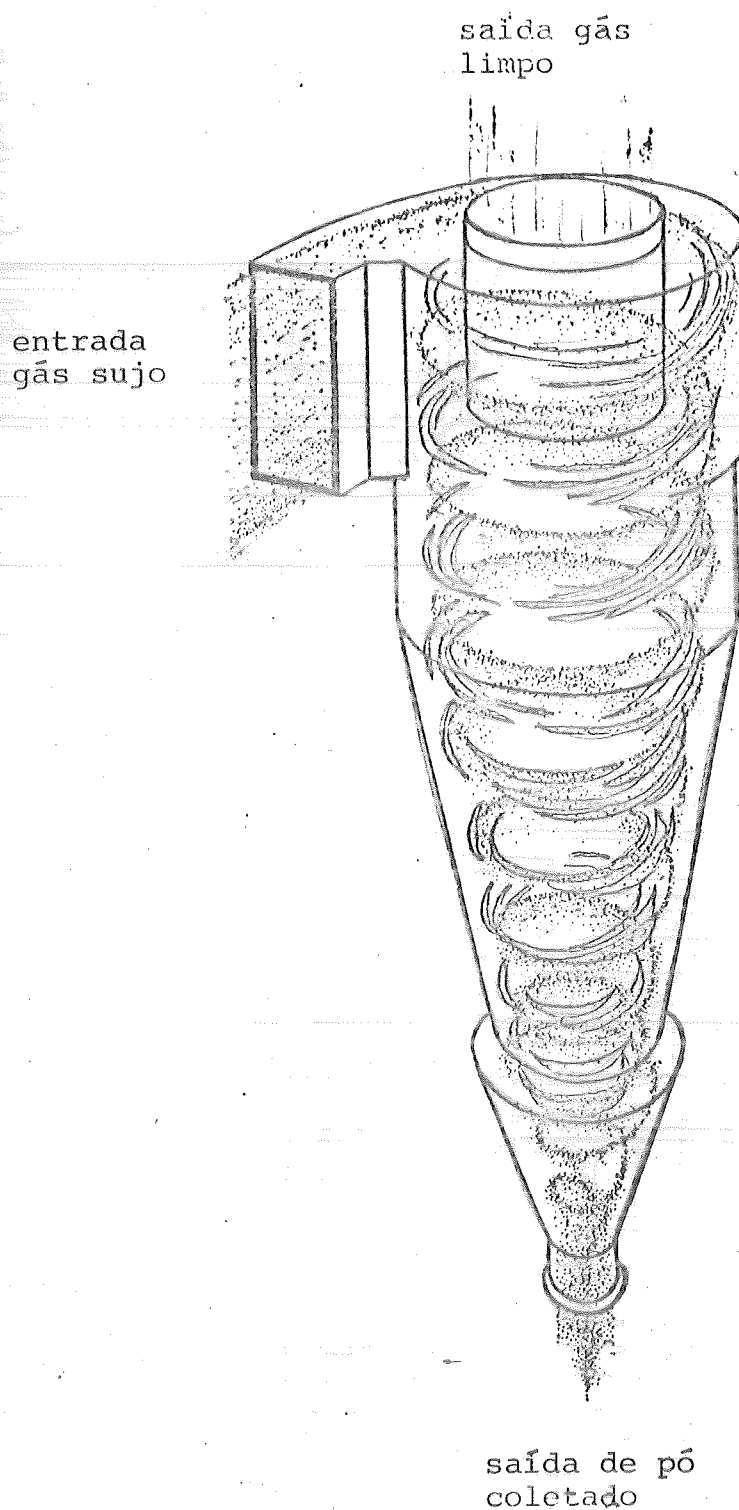


FIGURA B.1 - Ciclone de entrada envolvente

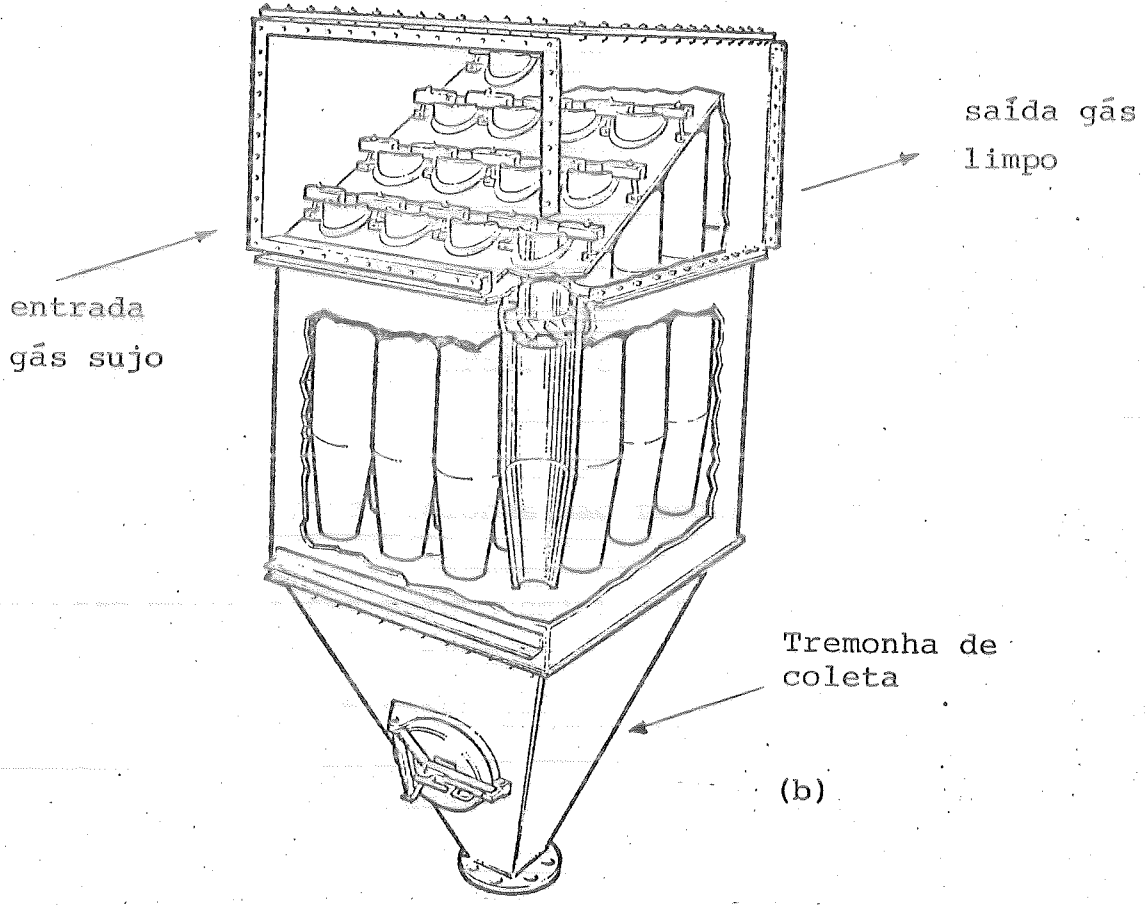
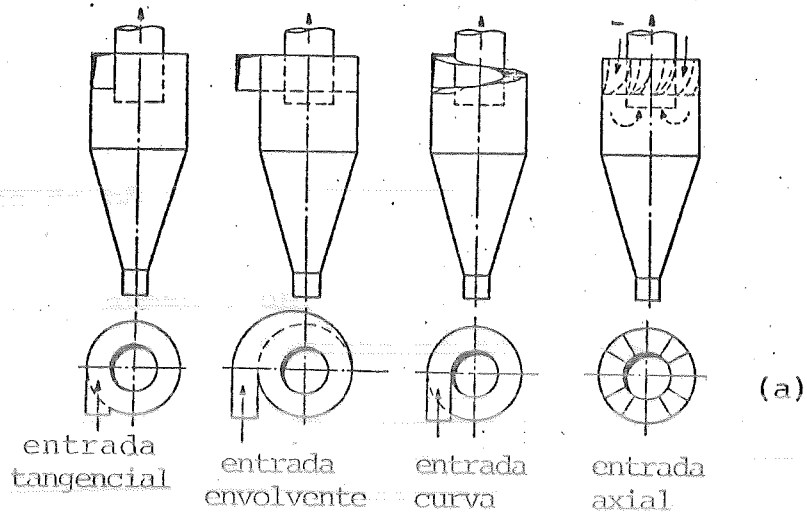


FIGURA B.2 - Ciclones (a) E Multiciclone (b)

B.1.2.1. DIMENSIONAMENTO DE CICLONES

Além do ciclone de entrada tangencial existem outros tipos de ciclones com diferentes tipos de entradas.

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

A eficiência de captação geralmente eleva-se 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

Por sua vez, a eficiência de captação normalmente 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 qualquer quantidade de material que o fluxo gasoso consiga movimentar.

Em geral, a eficiência do ciclone cresce com o aumento da carga de particulados. Desde que esta característica não é comum aos outros tipos de coletores de eficiência maior, os ciclones são frequentemente usados como pré-coletores, quando as cargas de material particulado são muito altas para o coletor final.

A operação destes coletores na sua capacidade de projeto é essencial para manter uma eficiência adequada. Se o fluxo de ar 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. Umidade deve ser evitada para prevenir entupimento da saída de pó, particularmente em pequenos ciclones. Exceções são as combinações de depuradores mecânicos e úmidos.

B.1.3. ESTIMATIVA DA EFICIÊNCIA DE COLETA PARA CICLONES

Um método bastante geral e que conseqüentemente pode ser utilizado na estimativa da eficiência de coleta para qualquer família de ciclones é aquele sugerido por Lapple.

Este método baseia-se no cálculo da dimensão da partícula que é coletada com 50% de eficiência (D_{PC}). Esta, também conhecida como diâmetro de corte, é calculado através da equação:

$$D_{PC} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot b}{2 \cdot N_e \cdot V_e} \cdot (\rho_p - \rho_g) \cdot \pi}$$

ONDE:

D_{PC} = Diâmetro de corte da partícula coletada com 50% de eficiência (cm)

μ = viscosidade do gás (g/s - cm)

b = largura do duto de entrada (cm)

N_e = número efetivo de voltas do efluente gasoso dentro do ciclone, varia de 0,5 a 10, mas geralmente é 5 para ciclones de alta eficiência.

V_e = velocidade de entrada (cm/s)

ρ_p = densidade da partícula (g/cm³)

ρ_g = densidade do gás (g/cm³)

Lapple, a partir de dados experimentais, definiu uma relação entre a razão de d_p (diâmetro de uma partícula) por D_{PC} e a eficiência com que a partícula com diâmetro d_p é coletada pelo ciclone, conforme figura B.3. a seguir.

Conhecida e dividida a distribuição dos tamanhos das partículas por faixas e sendo d_{pi} o diâmetro médio para cada faixa i , a eficiência global de coleta é dada por

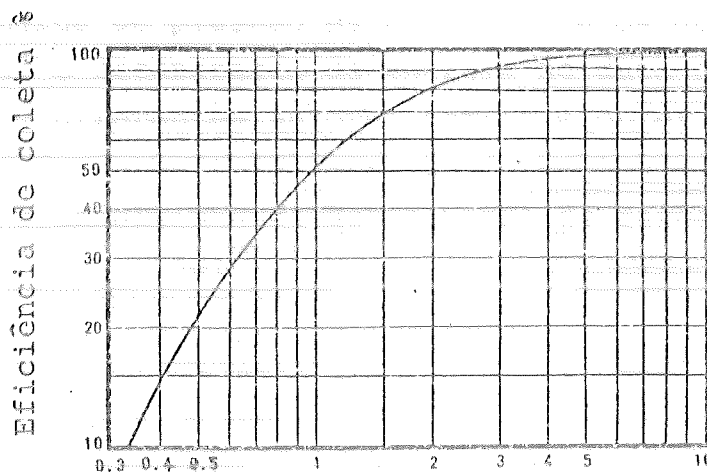
$$\eta_G = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \eta_i$$

ONDE:

η_G = é a eficiência global de coleta em peso (%)

ω_i = é a porcentagem em peso das partículas contidas na faixa i , cujo diâmetro médio é d_{pi} e

η_i = é a eficiência de coleta para d_{pi}



Razão do Tamanho da Partícula $\frac{d_p}{D_{PC}}$

FIGURA B.3 - Eficiência do ciclone versus razão do tamanho da partícula.

Segundo Lapple,

$$D_{PC} = \sqrt{9 \cdot \mu \cdot b / 2 \cdot N_e \cdot V_e \cdot (\rho_p - \rho_g) \pi}$$

Utilizando-se unidades práticas para as variáveis desta equação ela se reduz a

$$D_{PC} = 535 \sqrt{\mu \cdot b / \rho_p \cdot V_e} \quad , \quad P / N_e = 5$$

ONDE:

D_{PC} = em μm

μ = em cp

b = em m

ρ_p = em g/cm^3

V_e = em m/s

B.1.4. ESTIMATIVA DA PERDA DE CARGA EM CICLONES

Várias perdas parciais contribuem para a perda de carga total através de um ciclone. Essas perdas parciais são perdas por atrito no duto de entrada, perdas devido à expansão ou contração na entrada, perdas na entrada do duto de saída, perda de pressão estática entre os dutos de entrada e de saída, e recuperação de energia no duto de saída.

Diferentes autores tentaram obter uma estimativa da perda de carga total através do ciclone.

Lapple sugere que a perda de carga seja calculada através da equação:

$$\Delta p = F \times VP$$

ONDE:

Δp = perda de pressão em mm de C.A.

F = parâmetro adimensional = $k \times a \times b/D_s^2$, onde:

k - constante = 13

a - altura do duto de entrada (cm)

b - largura do duto de entrada (cm)

D_s - diâmetro do duto de saída dos gases (cm)

VP = pressão de velocidade em mm de C.A.

B.1.5. CUSTO DE OPERAÇÃO PARA CICLONES

O custo de operação anual para coletores centrífugos do tipo ciclônico, repousa basicamente no custo total da energia consumida para movimentação do efluente gasoso através do sistema coletor.

Este custo pode ser estimado através da equação:

$$CO = (Q_G \times T \times P_v / 36.710 \times \eta_v) C_k$$

ONDE:

C_O = custo de operação anual (Cr\$/ano)

Q_G = capacidade volumétrica do ciclone (m³/h)

T = tempo total de operação (h/ano)

$T_{max.} = 8.760 \text{ h} = 1 \text{ ano}$

P_v = pressão total a ser vencida pelo ventilador (cm C.A.)

η_v = eficiência do ventilador, geralmente η_v varia de 0,5 a 0,7

C_k = custo do kW.h (Cr\$/kW.h)

REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIAS

01. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION AND WELFARE.
Control Techniques for Particulate Air Pollutants
Washington, D.C., January 1969.
02. DANIELSON, John A. Air Pollution Engineering Manual
2nd. N.C., E.P.A., May 1973.
03. HASEGAWA, Paulo T. Coletores Centrífugos Secos -
Ciclones. São Paulo, Faculdade de Saúde Pública.

B.2. DEPURADOR ÚMIDO

Depurador úmido 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:

1. Molhamento das partículas por contato com as gotas do líquido de lavagem.
2. Retenção das partículas molhadas.

Na primeira fase, os principais mecanismos envolvidos são:

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

b) 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.

c) Condensação - se um gás é resfriado abaixo 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 estejam inicialmente aquecidos acima do seu ponto de orvalho.

Na segunda fase, podem ser utilizadas superfícies colocadas no percurso do fluxo gasoso, a ação da força centrífuga ou a simples sedimentação gravitacional removerá as partículas molhadas do efluente gasoso.

B.2.1. CLASSIFICAÇÃO DOS DEPURADORES ÚMIDOS

Os depuradores úmidos podem ser genericamente classificados em:

- Câmaras de borrifo (spray)
- Tipos centrífugos

- Unidades mecânicas ou dinâmicas
- Torres de enchimento
- Unidades de alta velocidade

As câmaras de borrião são projetos simples e constituem-se basicamente de uma câmara equipada com bicos de pulverização de água. A velocidade do gás diminui conforme ele entra no equipamento e as partículas molhadas vão para o fundo, sendo coletadas. A saída da câmara é equipada com eliminadores de gotas para prevenir o arraste de líquido na corrente de ar limpo.

Os depuradores úmidos do tipo centrífugo utilizam entrada tangencial ou guias direcionais para forçar as partículas contra uma superfície molhada por meio da aceleração centrífuga. Unidades 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 escoar por um leito de material de captação, fibroso ou granular, sobre o qual passa um líquido para prevenir reentrada das partículas depositadas e promover a limpeza da superfície de captação. A retenção do contaminante depende do contato com a superfície de captação. O elemento de captação deve ter grande área superficial e ser constituído com material de pequeno peso específico. Estes equipamentos são usados extensivamente para a captação de material particulado na forma líquida e gases, e para a limpeza de gases com pequenas cargas de particulados.

O desenvolvimento dos coletores úmidos progrediu muito nos últimos anos a ponto de ser possível boa captação para partículas submicrônicas. Pelo fracionamento extremamente alto das gotas de água é possível assegurar melhor contato entre as pequenas partículas do contaminante e as partículas de água. Geralmente isto é conseguido pelo uso de bicos ejetores de alta pressão ou por venturis de alta velocidade. Nos sistemas de alta pressão, são usadas pressões de 20 kgf/cm² ou maiores. Os bicos são dispostos de modo que o impacto entre as gotas de água seja minimizado, devendo o projeto assegurar máximo impacto entre as gotas de água e o material particulado.

No depurador úmido do tipo venturi o contato entre o líquido e o contaminante é conseguido através da alta velocidade atingida pelo fluxo gasoso na garganta do venturi (onde é introduzida a água de lavagem). Por causa das altas velocidades, as quedas de pressão no coletor são extremamente altas, usualmente na faixa de 400 a 1.000 mmC.A. O espaço requerido para este equipamento é pequeno e usualmente a água usada pode ser recirculada.

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

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

B. 2.2. SELEÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Na construção de depuradores úmidos, deve-se atentar para o emprego de materiais de construção adequados para resistir a ação corrosiva da lama efluente que pode conter ácidos e a ação erosiva da vazão exaurida que transporta sólidos abrasivos.

Em instalações que houver a presença de dióxido de enxofre (SO_2) ou fluoretos, haverá a necessidade de emprego de aço inox.

Quando as exigências de resistência a corrosão e abrasão excederem os limites do aço inox, poder-se-á empregar plásticos reforçados com fibra de vidro.

Os revestimentos resistentes a abrasão são necessários para controlar situações em que ocorrem alta temperatura e/ou corrosão, por exemplo, presença de cloretos e/ou presença de fluoretos a alta temperatura.

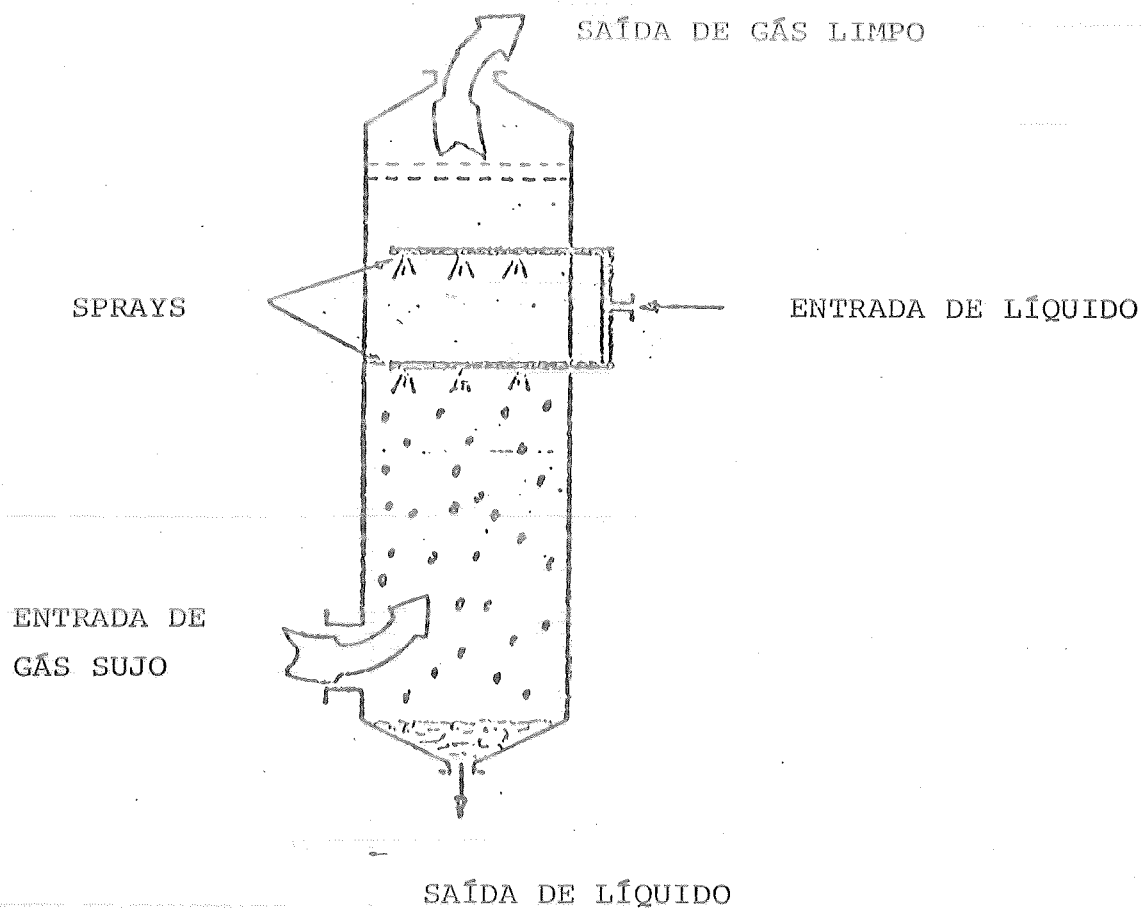


FIGURA B.4 - Depurador úmido do tipo torre de sprays

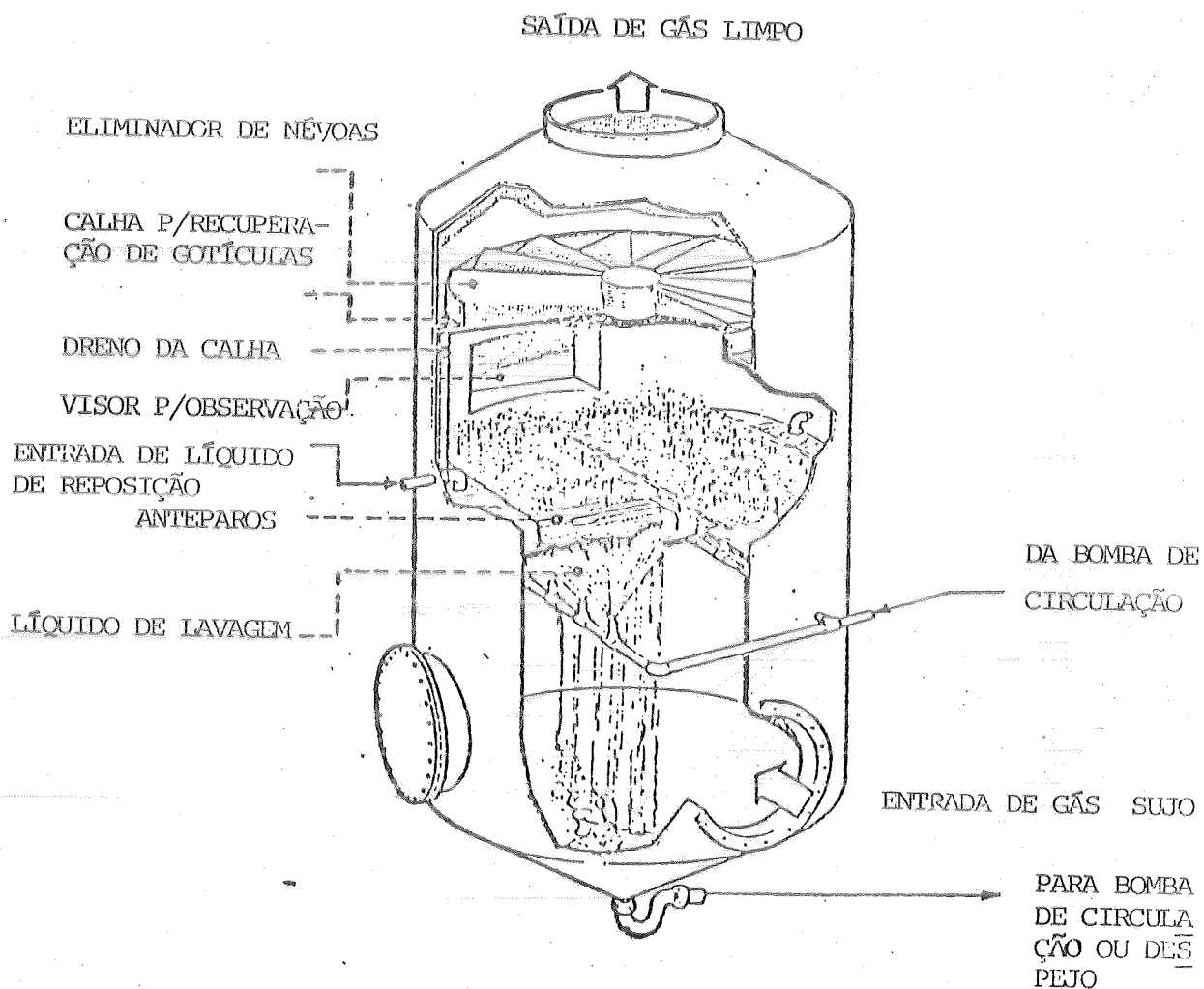
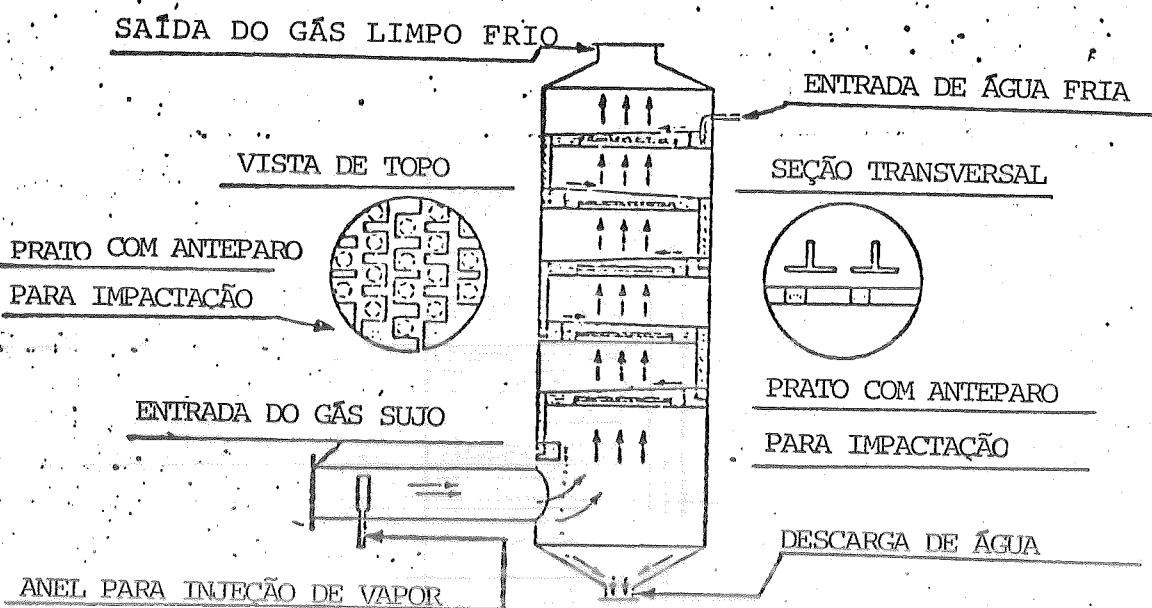


FIGURA B.6. - Depurador úmido do tipo torre com pratos de impactação

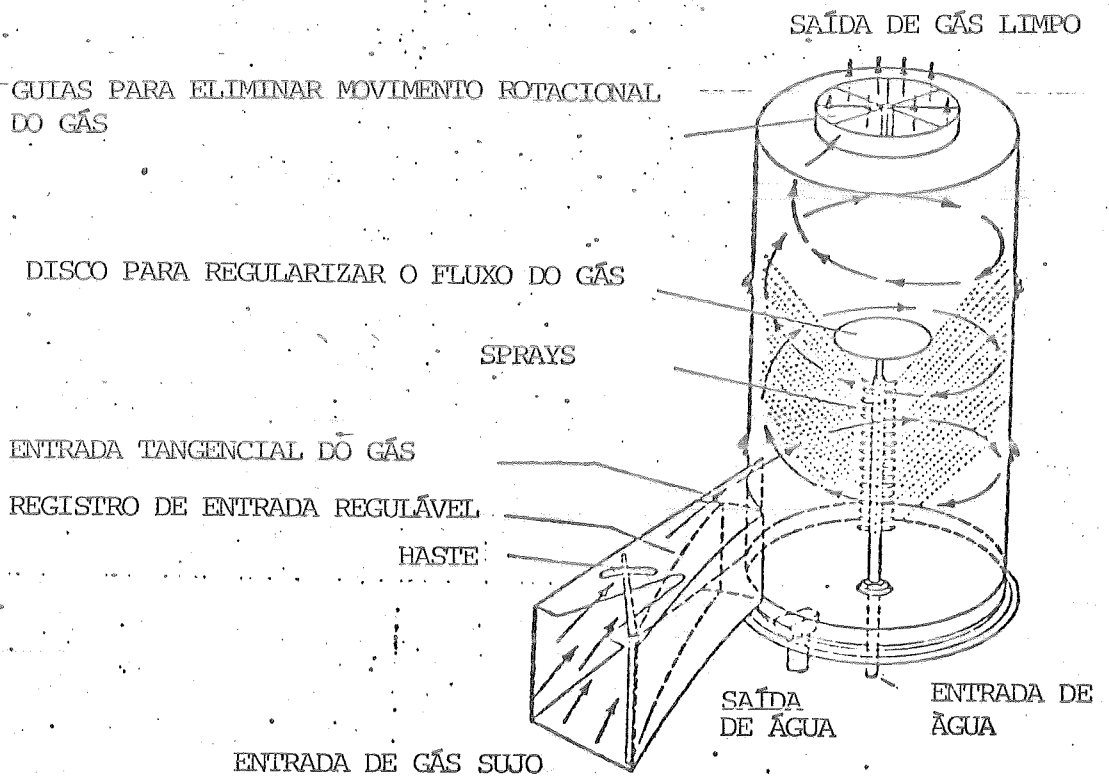
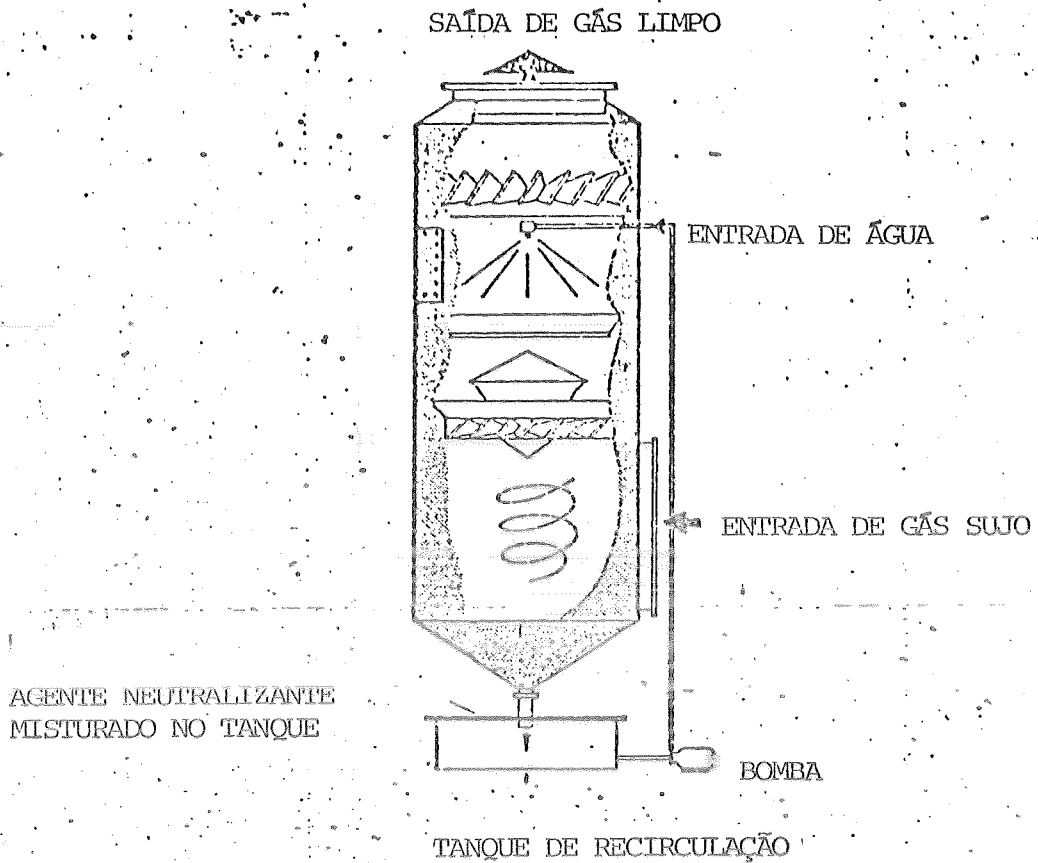


FIGURA B.7.- Depurador úmido do tipo ciclônico.

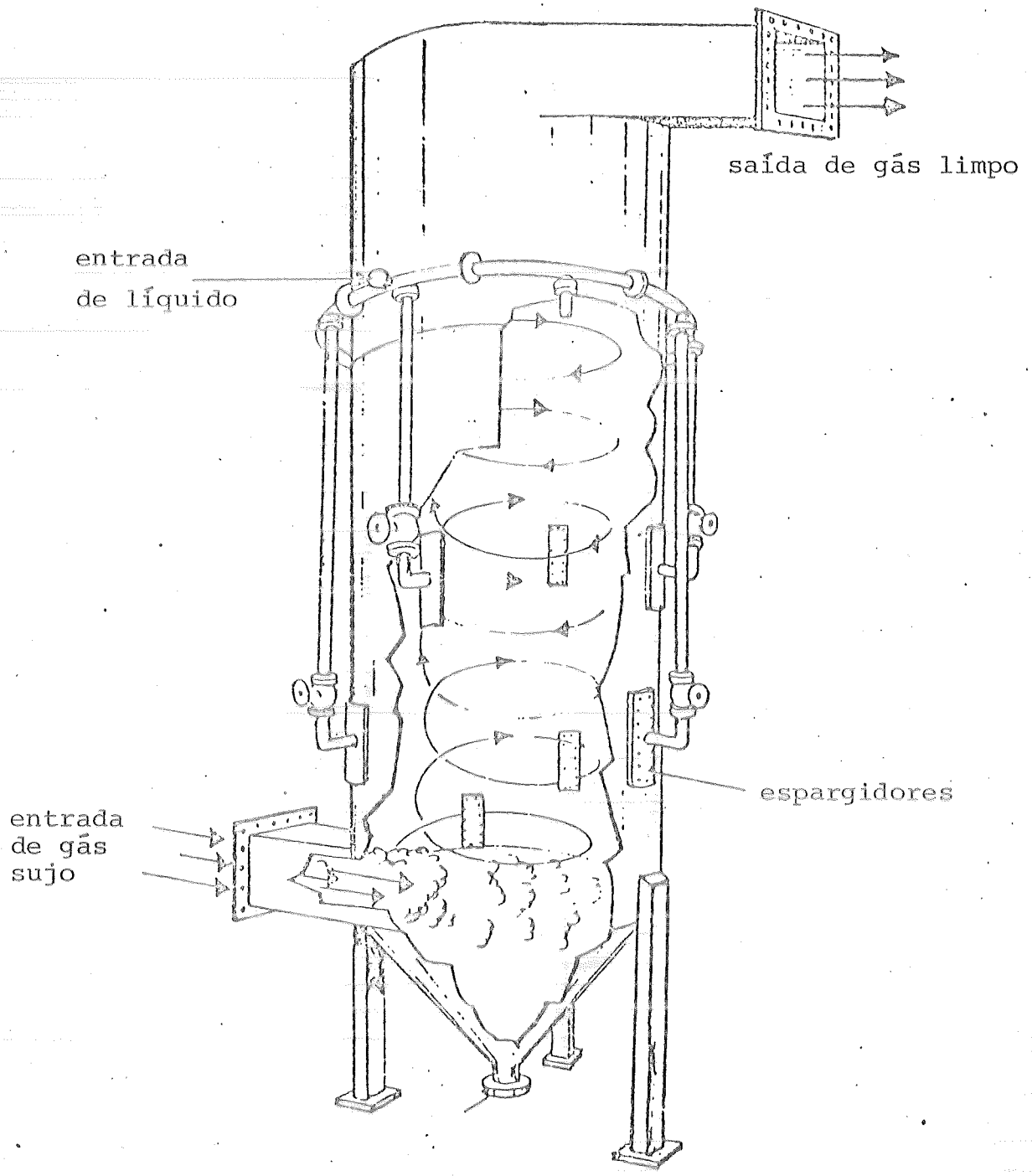


FIGURA B.8. - Depurador úmido tipo ciclônico.

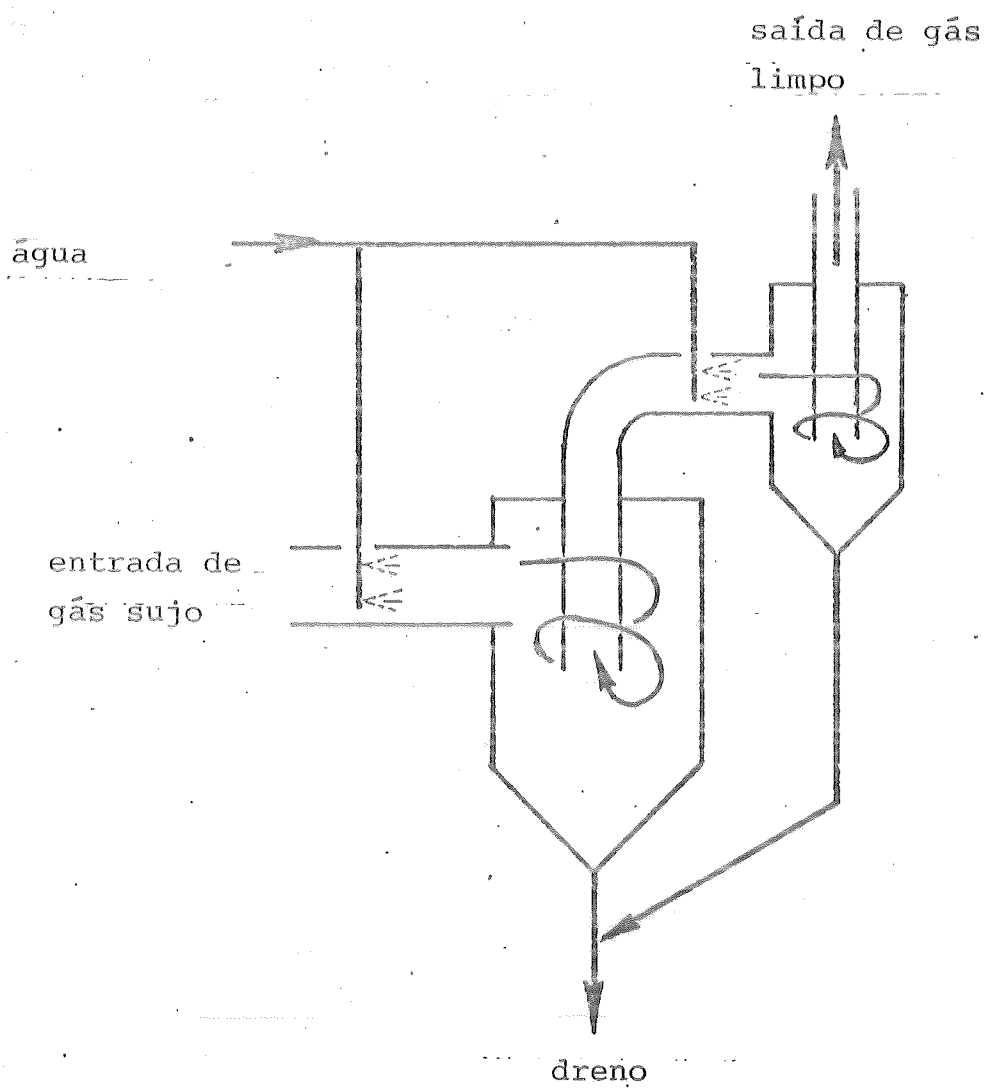


FIGURA B.9 - Depurador úmido ciclônico com dois estágios

Tipos de Enchimento

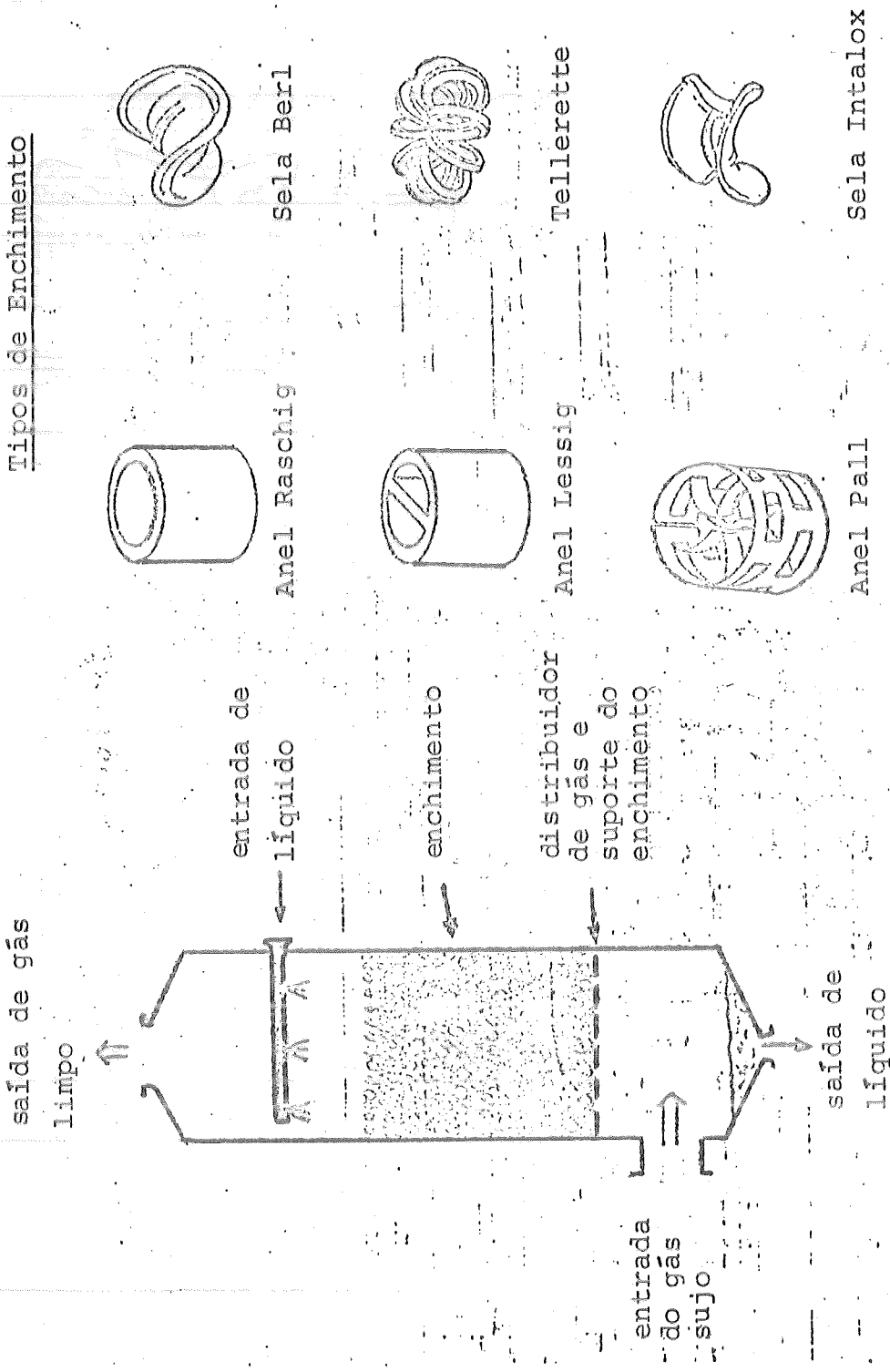


FIGURA B.10.- Depurador úmido do tipo torre com enchimento

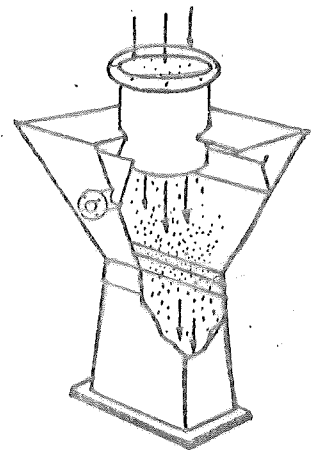
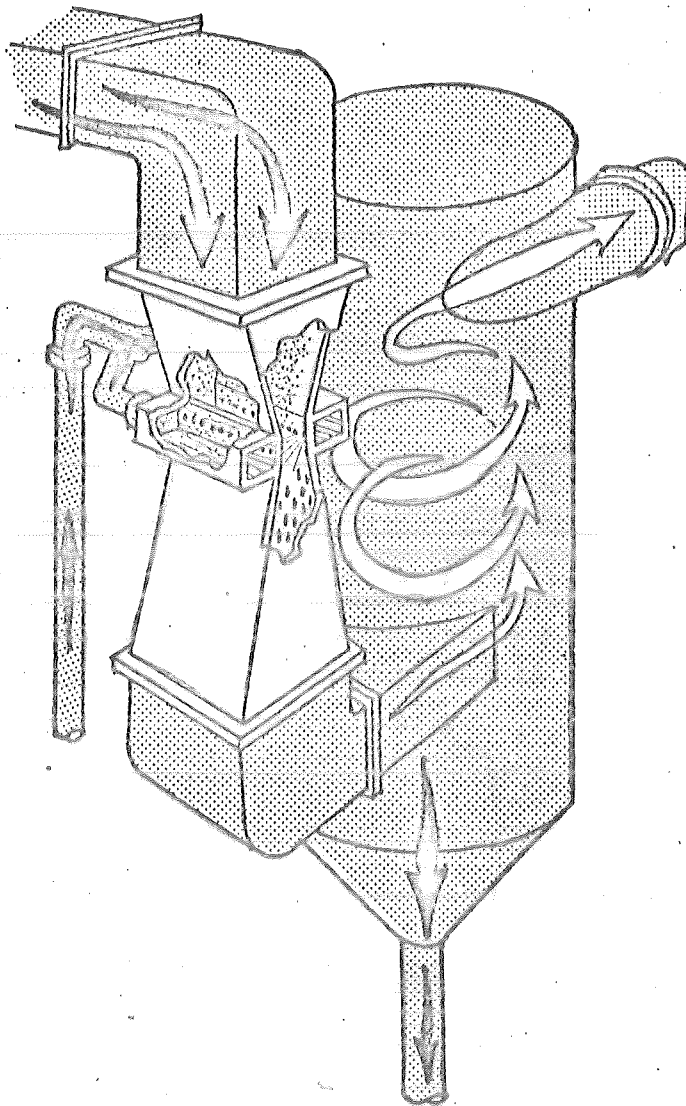
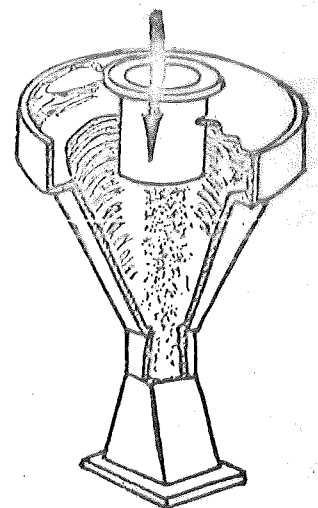


FIGURA B.11- Depurador úmido tipo venturi com eliminador de gotas.

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



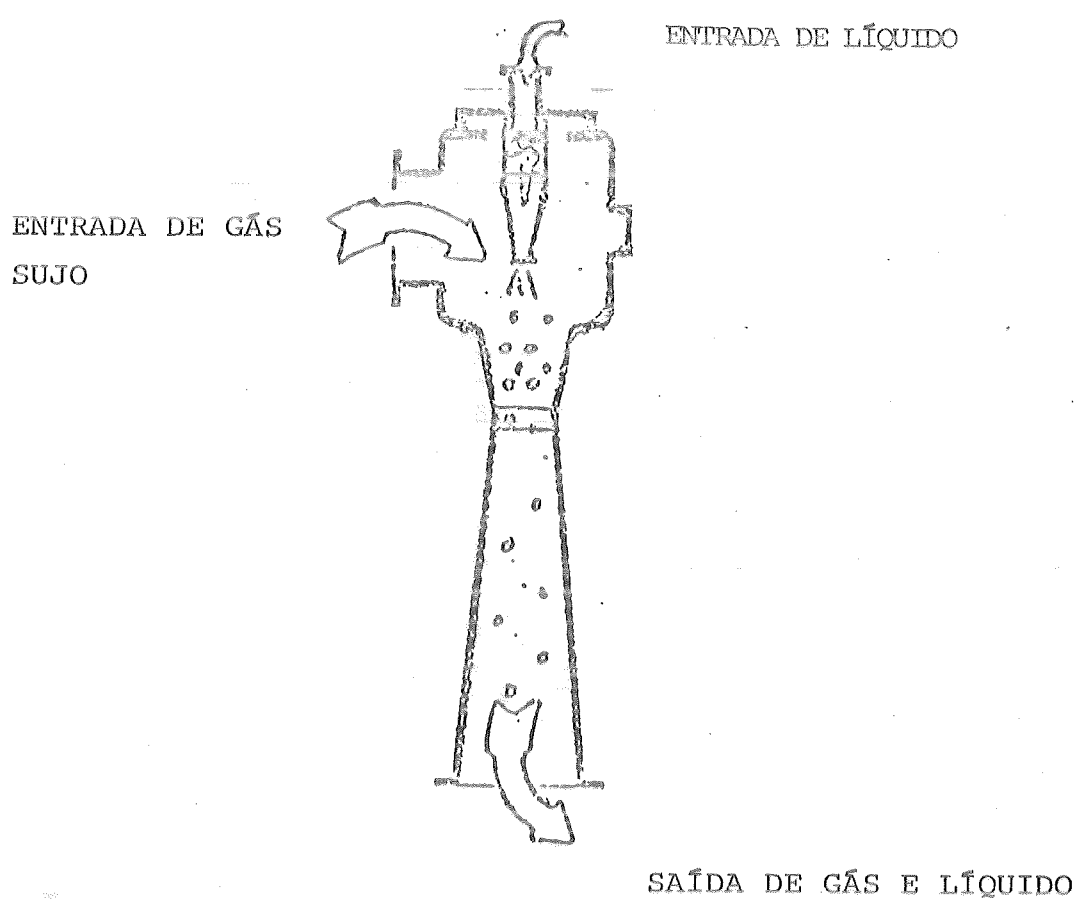


FIGURA B.12. - Depurador úmido do tipo Ejetor

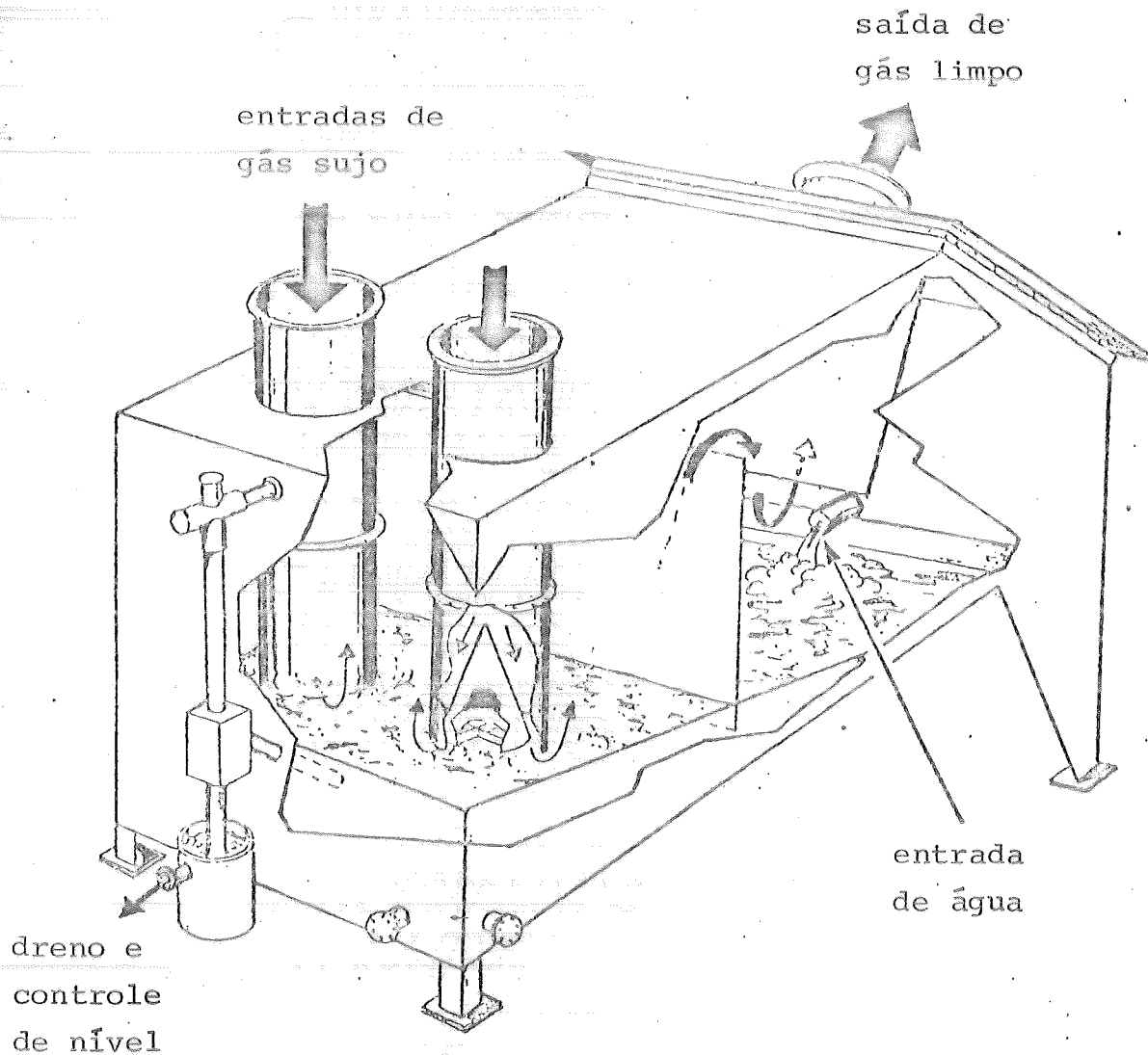


FIGURA B.13 - Depurador úmido do tipo Orifício

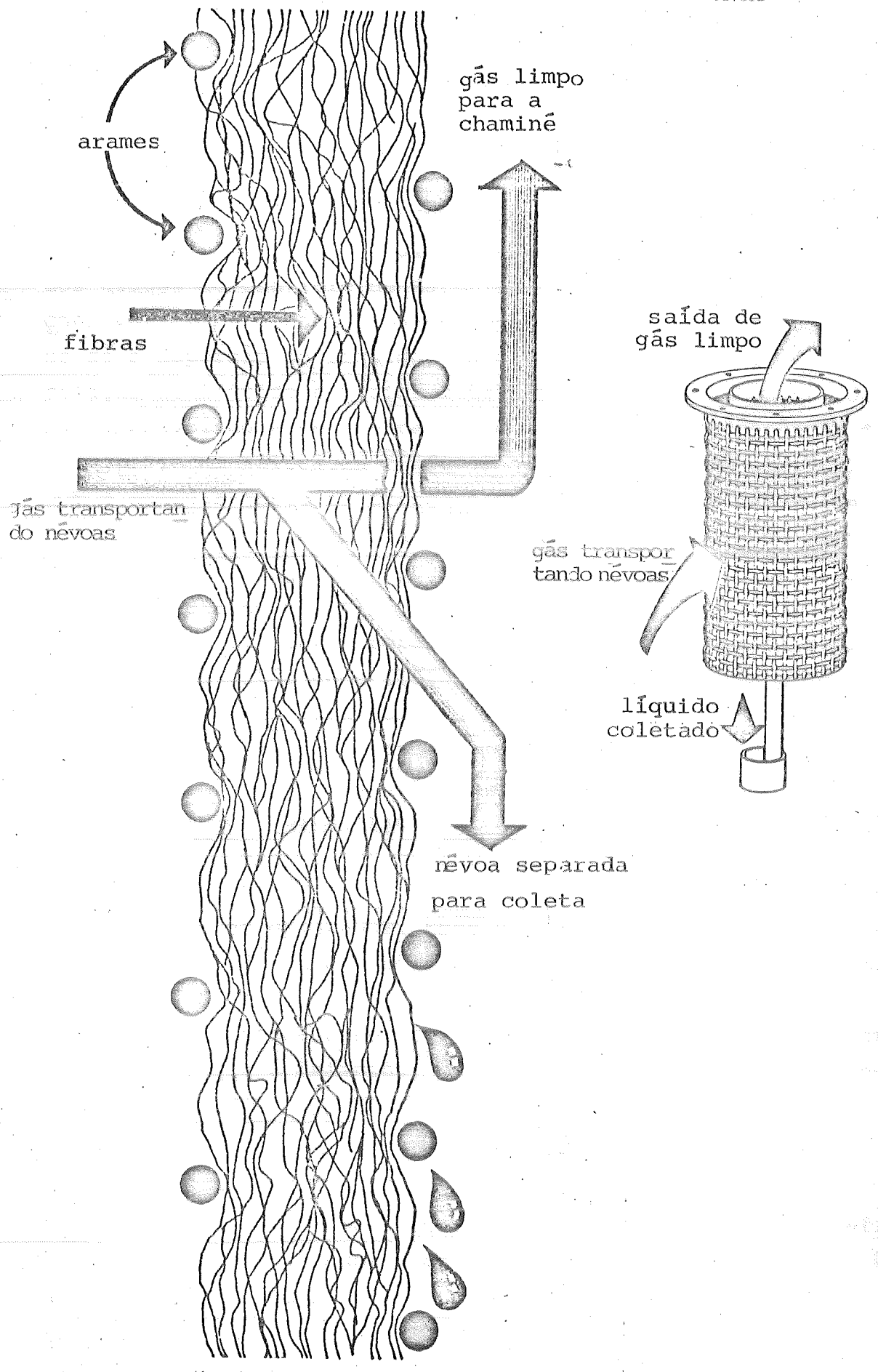


FIGURA B.14 - Eliminador de névoas

B.2.3. EFICIÊNCIA DE COLETA PARA DEPURADORES ÚMIDOS

Várias relações tem sido propostas para expressar o rendimento dos diversos tipos de depuradores úmidos usados no controle de material particulado. Essas relações variam para cada tipo de depurador, dependendo de como se dá a aspersão do líquido, da direção e sentido do gás com relação ao líquido e vários outros fatores. Recentemente, Semrau desenvolveu experimentalmente, o conceito de "potência de contato", que relaciona a eficiência de coleta de partículas com a energia gasta no processo de contato entre gás e líquido. O conceito de potência de contato afirma que, no contato entre gás e líquido, potência é dissipada na turbulência dos fluidos e em calor.

A perda total de pressão em um depurador úmido, P_T , será então constituída por duas parcelas; a perda de pressão do gás ao atravessar o sistema de trocas, P_G , e a pressão dissipada na atomização do líquido nos ejetores P_L .

Essa potência consumida, em termos de potência por unidade volumétrica da vazão de gás, é denominada de potência de contato, não estando nela incluídas as potências por perdas elétricas e mecânicas, nem perdas por atrito nas partes secas do depurador. Esse conceito, apesar da carência de maiores fundamentos teóricos, tem se mostrado relativamente válido na prática. Nele, a eficiência de um coletor úmido estará correlacionada por uma unidade de transferência adimensional, N_t , que é definida, em termos de eficiência de coleta η , por:

$$N_t = \ln (1/1-\eta)$$

Uma tabela com valores comparativos entre eficiência de coleta e número de unidades de transferência é apresentada a seguir.

TABELA B.2 - Unidade de transferência em depuradores úmidos e eficiência de coleta

Número de Unidades de Transferência (N_t)	Eficiência de Coleta η (%)
0,5	39,35
1,0	63,21
2,0	86,47
4,0	98,17
6,0	99,75
10,0	99,99

FONTE: STRAUSS, W. Industrial Gas Cleaning, 1975

Semrau plotou ainda o número de unidades de transferência contra o consumo total de potência (P_T), para uma série de depuradores úmidos e poeiras, conseguindo uma relação linear (em papel log-log), para cada caso, independente do tipo de depurador. Esta relação é expressa por:

$N_t = \alpha \times P_T^\beta$ onde α e β são parâmetros característicos da poeira coletada.

Alguns valores para α e β estão descritos na Tabela B.3

A potência de contato, em $\text{kW}/(1.000\text{m}^3/\text{h})$, varia como valores usuais, desde 0,15 até 4,0.

TABELA B.3 - Parâmetros de correlação para eficiência de depuradores úmidos

AEROSSOL	DEPURADOR ÚMIDO	PARÂMETRO	
		α	β
Poeira de talco	Orifício	2,70	0,362
	Venturi	2,97	0,362
	Ciclônico	1,16	0,655
Névoa de Ácido Fosfórico	Venturi	1,33	0,647
Poeiras de Cubilô	Venturi	1,35	0,621
	Fumos de Aço em S.M.	venturi	1,26

FONTE.: STRAUSS, W. Industrial Gas Cleaning, 1975

Por exemplo, um depurador úmido do tipo venturi, instalado para controle dos fumos provenientes de um forno Siemens-Martin, fundindo aço e usando uma potência de contato da ordem de $2 \text{ kW}/(1.000\text{m}^3/\text{h})$, terá uma eficiência de coleta de:

$$N_t = \alpha \times P_t^\beta \quad \text{sendo } \alpha = 1,26 \text{ e } \beta = 0,569$$

$$N_t = 1,26 (2)^{0,569} = 1,87$$

$$N_t = \ln (1/1 - \eta)$$

$$1,87 = \ln (1/1 - \eta) \therefore \eta = 84,58\%$$

B.2.4. TÓPICOS SOBRE A MANUTENÇÃO DE DEPURADORES ÚMIDOS

Esta lista de itens a serem verificados baseia-se em problemas que surgem durante a operação de depuradores úmidos de alta energia do tipo venturi (comum ou de disco inundado). (5).

Tais itens deverão ser inspecionados rotineiramente e os eventuais reparos deverão ser realizados segundo as recomendações do fabricante.

- (a) Verificar se está havendo uma boa distribuição de água sobre o disco ou na gargante do venturi
- (b) Verificar a ocorrência de corrosão/erosão em todas as superfícies internas do depurador, especialmente a corrosão localizada embaixo de crostas. Realizar reparos se necessário.
- (c) Limpar e retirar as crostas localizadas em todas as partes internas do depurador.
Durante a retirada das crostas, cuidar para não danificar o revestimento interno, caso exista.
- (d) Verifique os bicos injetores quanto a entupimentos ou defeitos. Repare ou substitua caso seja necessário.
- (e) Verifique o entupimento por sólidos nas linhas de descarga de líquido de lavagem usado.
- (f) Verifique a ocorrência de corrosão/erosão e vazamentos,

em linhas onde o revestimento protetor esteja estragado. Substitua o revestimento, se necessário.

- (g) Verificar a operação do coletor de névoas. Emissões de gotículas poderão ser causadas por uma excessiva vazão volumétrica, drenos entupidos ou condensação no duto de saída
- (h) Verificar as bombas de circulação quanto a desgaste, selo d'água e uniformidade de operação.
- (i) Verificar os registros quanto ao posicionamento adequado e possível desgaste.
- (j) Verificar a lubrificação, sistema de refrigeração dos mancais, desgaste e tensão da correia e erosão/corrosão do rotor, dos ventiladores.
- (k) A inspeção exterior do depurador deverá verificar possíveis vazamentos em todas as linhas de processo e controle, dutos e juntas de expansão.

B.2.5. CUSTO DE OPERAÇÃO PARA DEPURADORES ÚMIDOS

Os custos operacionais para um coletor úmido incluem o custo da energia gasta e o custo do líquido de lavagem. O consumo de energia varia com o tamanho do equipamento, taxa de circulação de líquido e perdas de pressão. O consumo de líquido varia também com o tamanho do equipamento e temperatura dos gases a serem tratados.

O custo de operação anual de um depurador úmido pode então ser estimado a partir da seguinte equação:

$$CO = Q_G \times T \left[\left(\frac{Q_L \times P_T}{Q_G \times \eta_B \times 367} + \frac{P_V}{36.710 \times \eta_V} \right) C_K + \frac{Q'_L}{Q_G} C_L \right]$$

ONDE: CO = custo de operação anual. (Cr\$/ano)

Q_G = capacidade volumétrica do depurador úmido (m^3/h) de gás.

T = tempo total de operação (h/ano). Em 1 ano = 8.760 h.

$\frac{Q_L}{Q_G}$ = relação entre a vazão da bomba de circulação do líquido de lavagem e a vazão do efluente gasoso (adimensional)

P_T = pressão total da bomba, incluindo: pressão para vencer as perdas do sistema de tubulação do líquido de lavagem e a pressão no depurador (m CA)

η = eficiência. O sub-índice B representa bomba e o sub-índice V, ventilador.

P_V = pressão total a ser vendida pelo ventilador (cm CA).

C_K = custo do kW.h em Cr\$/kW.h.

Q'_L = líquido de reposição (m^3/h).

C_L = custo do m^3 do líquido de reposição (Cr\$/ m^3).

REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

01. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION AND WELFARE.
Control Techniques For Particulate Air Pollutants.
Washington, D.C., January 1969.
02. DANIELSON, John A. Air Pollution Engineering Manual
2 nd. N.C., E.P.A., May 1973.
03. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Wet Scrubbers. New York.
04. STRAUSS, W. Industrial Gas Cleaning 2nd. Pergamon
Press, U.S.A. 1975.
05. SZABO, M.F. et al - Operation and Maintenance of Parti-
culate Control Devices on Selected Steel and Ferroal-
loy, etc... - Pedco - Environmental, Inc., Cincinna-
ti - Ohio - PB - 282 256 - March/78

B.3 FILTROS DE TECIDO

Filtro de tecido é o tipo de equipamento onde o gás contaminado atravessa unidirecionalmente um tecido de maneira tal 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, sustentadas 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.

B.3.1. MECANISMOS DE FILTRAÇÃO

Na filtração, os principais mecanismos de coleta presentes são:

- . impactação inercial
- . interceptação
- . difusão
- . deposição gravitacional
- . precipitação eletrostática
- . precipitação térmica (desprezível)

Além desses, em filtração há que se considerar a ação de peneiramento puro.

Em filtros de tecido que ainda não tenham sido utilizados, a eficiência de coleta é baixa (da ordem de 60%) e, tão logo o material particulado comece a se depositar, a eficiência sobe para valores na ordem de 90% ou mais. Assim sendo, observa-se que a real coleta é exercida pela camada de partículas já depositadas, suportada pelas fibras do tecido.

B.3.2. VARIÁVEIS INTERVENIENTES NA EFICIÊNCIA DE FILTRAÇÃO

B.3.2.1. Limpeza de Filtros

Na limpeza dos filtros, os métodos mais co

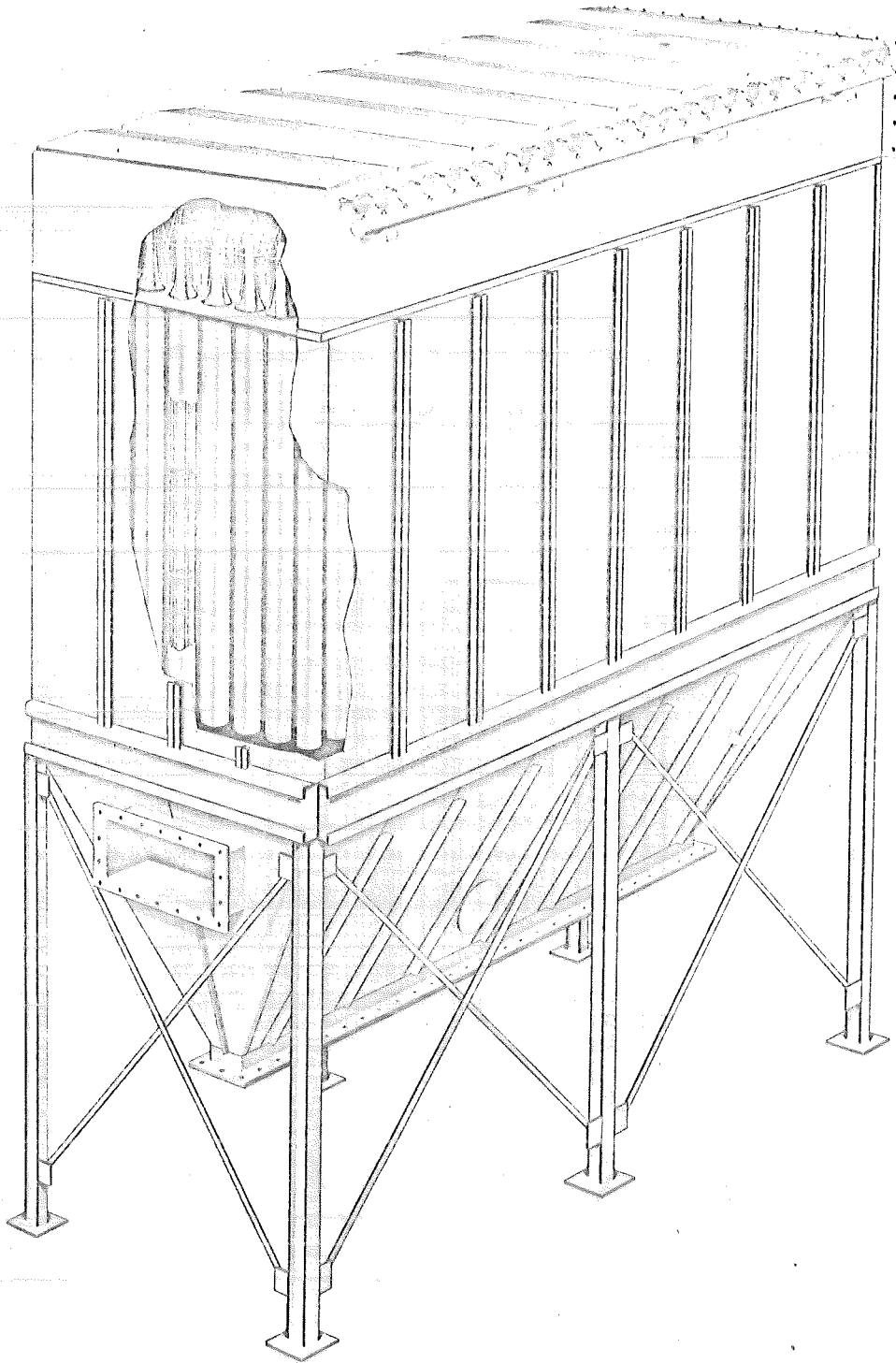


FIGURA B.15- Filtro de tecido

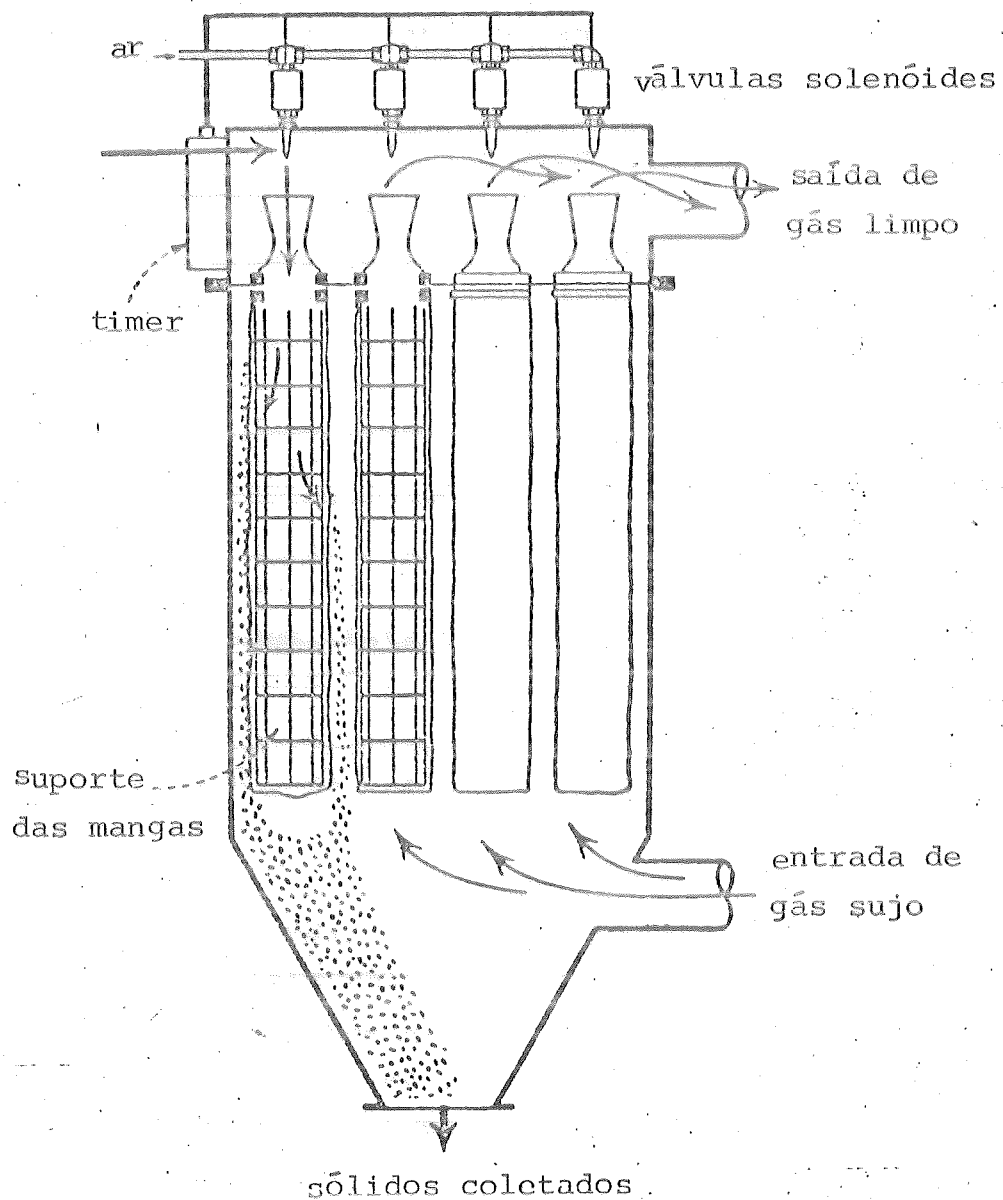


FIGURA B.16.-Filtro de tecido com sistema de limpeza do tipo jato pulsante.

mumente utilizados são:

(a) por agitação mecânica das mangas, sendo a agitação automática ou manual.

(b) por ondas sonoras de baixa frequência - uma fonte sonora emite ondas, fazendo vibrar as mangas.

(c) por meio de colapso das mangas - diferenças de pressão provocam colapso das mangas, desalojando a poeira coletada.

(d) por jato pulsante - um jato de ar comprimido é soprado no alto da manga, através de uma seção venturi.

(e) por jato reverso - um anel perfurado sopra continuamente ar em sentido perpendicular ao fluxo de gás a ser filtrado, em volta da parte exterior da manga.

(f) por fluxo reverso - identicamente ao jato reverso, faz-se uma reversão do fluxo gasoso a baixa pressão.

B.3.2.2. Velocidades de filtração

O fluxo gasoso, nas condições reais, determina o tamanho do filtro pela utilização de uma velocidade ótima de filtração. Esta velocidade é definida como a razão da vazão de gás filtrado por área de filtro.

A tabela B.4 apresenta os valores de velocidade de filtração para vários tipos de poluentes industriais. No dimensionamento dos filtros, esses valores de velocidade são determinados empiricamente e são baseados em experiências anteriores.

Tais valores representam a velocidade média com a qual o gás passa através da área superficial do tecido. Esta é realmente uma velocidade de face, não representando a velocidade através das malhas do tecido.

Uma velocidade muito alta causará uma elevada perda de carga, reduzida eficiência de coleta e alto custo de manutenção.

Para materiais tais como, areia, poeira de fertilizantes e poeiras resultantes de moagem, são recomendadas velocidades na faixa de 0,61 a 1,52 m/min. para limpeza intermitente das mangas. Para fumos compreendendo partículas

TABELA B.4 - Velocidades de filtração recomendadas para vários tipos de material particulado e métodos de limpeza das mangas

MATERIAL PARTICULADO	VELOCIDADE DE FILTRAGEM (m/min)		
	Limpeza por agitação mecânica	Limpeza por jato pulsante	
Açúcar	0,61 - 0,76	2,13 - 3,05	-
Alumina	0,76 - 0,91	2,44 - 3,05	-
Amido	0,91 - 1,07	2,44 - 2,74	-
Areia	0,76 - 0,91	3,05 - 3,66	-
Argila	0,76 - 0,98	2,74 - 3,05	0,46 - 0,61
Asbestos	0,91 - 1,07	3,05 - 3,66	-
Bauxita	0,76 - 0,98	2,44 - 3,05	-
Cacau, chocolate	0,85 - 0,98	3,66 - 4,57	-
Cal	0,76 - 0,91	3,05 - 3,66	0,49 - 0,61
Calcário	0,82 - 1,00	2,44 - 3,05	-
Carvão	0,75 - 0,91	3,44 - 3,05	-
Cimento	0,61 - 0,91	2,44 - 3,05	0,37 - 0,46
Cosméticos	0,46 - 0,61	3,05 - 3,66	-
Detergentes sabão	0,61 - 0,76	1,52 - 1,83	0,37 - 0,46
Farinha	0,91 - 1,07	3,66 - 4,57	-
Feldspato	0,67 - 0,85	2,74 - 3,05	-
Fertilizantes	0,91 - 1,07	2,44 - 2,74	0,58 - 0,61
Fritas	0,76 - 0,91	2,74 - 3,05	0,46 - 0,61
Gesso	0,61 - 0,76	3,05 - 3,66	0,58 - 0,61
Grafite	0,61 - 0,76	1,52 - 1,83	0,46 - 0,61
Miça	0,82 - 1,00	2,74 - 3,35	0,58 - 0,61
Minério de Ferro	0,91 - 1,07	3,35 - 3,66	-
Negro de Fumo	0,46 - 0,61	1,52 - 1,83	0,34 - 0,46
Óxido de Chumbo	0,61 - 0,76	1,83 - 2,44	0,46 - 0,58
Óxido de Ferro	0,76 - 0,91	2,13 - 2,44	0,46 - 0,61
Óxido de Zinco	0,61 - 0,76	1,52 - 1,83	0,46 - 0,58
Papel	1,07 - 1,22	3,05 - 3,66	-
Pigmentos para tinta	0,76 - 0,91	2,13 - 2,44	0,61 - 0,67
Plásticos	0,76 - 0,91	2,13 - 2,74	-
Pó de Couro	1,07 - 1,22	3,66 - 4,57	-
Pó de Pedra	0,91 - 1,07	2,74 - 3,05	-
Pó de Serra (madeira)	1,07 - 1,22	3,66 - 4,57	-
Quartzo	0,85 - 0,98	2,74 - 3,35	-
Sílica	0,70 - 0,85	2,13 - 2,74	0,37 - 0,46
Sulfato de Ferro	0,61 - 0,75	1,83 - 2,44	0,46 - 0,61
Tabaco	1,07 - 1,22	3,96 - 4,57	-
Talco	0,76 - 0,91	3,05 - 3,66	-

Fonte.: James P. Tomany - Air Pollution: The Emissions, the Regulations and the Control - 1975.

las submicrônicas, que tendem a entupir o tecido, são recomendadas velocidades menores do que 0,61 m/min.

B.3.2.3. Perda de Carga

A medida que a poeira vai se depositando no filtro, a perda de carga vai aumentando gradativamente até atingir um valor máximo, quando então o sistema de limpeza é acionado e a poeira coletada é descarregada. Como nem todas as partículas são removidas, o reinício de operação se dá com um residual de perda de carga através da camada de pó depositada.

Assim, $\Delta p = \Delta p_o + \Delta p_d$ onde

$$\Delta p_o = K_o V_f$$

Sendo K_o - fator básico de resistência do tecido, depende principalmente da espessura da camada de poeira depositada sobre si, do tipo de tecido e da eficácia do mecanismo de limpeza.

V_f - velocidade de filtração

O cálculo de Δp_d é dado pela equação:

$$\Delta p_d = K_1 C t V_f^2$$

onde: K_1 - fator básico da resistência da camada de poeira que depende da viscosidade e densidade do gás bem como da viscosidade, propriedade e tamanho do pó.

C - concentração de poeira

t - tempo de filtração

V_f - velocidade de filtração

Tendo em vista as dificuldades na determinação da perda de carga, a área do tecido é geralmente selecionada para proporcionar uma perda de carga operacional ao redor de 80,0 a 100,0 mm de coluna de água, mas em alguns projetos podem ultrapassar 250 mm de coluna de água.

B.3.2.4. Materiais Filtrantes

Vários tipos de material tem sido testados ou definitivamente usados na confecção de filtros.

Cada material usado tem suas vantagens e desvantagens, as quais estão referenciadas na tabela B.5.

Para a confecção dos filtros, dois tipos básicos de tecidos são utilizados: trançados e feltrados. Os tecidos trançados agem como um suporte, no qual uma camada

TABELA B.5 - Propriedades dos tecidos dos filtros

Tecido	Temperatura de fusão	Máxima temperatura de operação	Resistência a ácidos	Resistência a alcalinos	Abrasão
Algodão	Decompõe-se a 150°C	80°C	Baixa	Muito boa	Muito boa
Lã	Queima a 300°C	95°C	Muito boa	Baixa	Razoável a boa
Náilon 6,6	250°C	95°C	Razoável	Excelente	Excelente
HT - 1	Queima a 370°C	205°C	Melhor que o náilon; pior que Dacron e Orlon	Pior que o náilon; melhor que Dacron e Orlon	Boa
Dacron	250°C	135°C	Boa para a maioria dos ácidos minerais. Dissolve-se parcialmente em ácido sulfúrico concentrado	Boa em bases fracas; razoável em bases fortes	Muito boa
Orlon	Amolece a 250°C	130°C	Boa a excelente em ácidos minerais	Razoável a boa em bases fracas	Boa
Creslan	Amolece a 245°C	120°C	Boa em ácidos minerais	Boa em bases fracas	Boa a muito boa
Dynel	Amolece a 165°C	70°C	Pequeno efeito mesmo a altas concentrações	Pequeno efeito mesmo a altas concentrações	Razoável a boa
Polipropileno	170°C	95°C	Excelente	Excelente	Excelente
Teflon	Decompõe-se a 400°C	Emite gases tóxicos a 230°C	Inerte, com exceção do fluor	Inerte, com exceção do cloro, trifluoreto e metais alcalinos fundidos	Razoável
Fibra de Vidro	800°C	290°C	Razoável a boa	Razoável a boa	Razoável
Filttron	Amolece a 265°C	130°C	Boa a excelente	Boa	Boa a muito boa

Fonte.: Charles W. Gruber - Air Quality Control Notes - 1975

de pó é depositada formando um leito microporoso capaz de remover as partículas do ar por peneiramento além de outros mecanismos básicos de filtração. A filtração por camadas é o mecanismo de remoção mais importante quando os filtros novos ficam impregnados de poeira.

Os filtros feltrados quando novos, são coletores mais eficientes do que os trançados em mesmas condições, porém estes são capazes de proporcionar igual eficiência, após formação da camada de poeira na superfície.

Quando os tecidos trançados novos são colocados em operação poderá ocorrer visível emissão de pó até a formação da torta de poeira. Isto levará um período de tempo de algumas horas até alguns dias, dependendo da concentração de poeira e da natureza das partículas no gás carreador.

Os tecidos trançados basicamente são de três tipos: liso, sarjado e acetinado. Tais tecidos são feitos de algodão, lã, dracon, nylon, orlon, nomex, polipropileno, teflon e fibra de vidro.

Os feltrados são usados para filtros cujo mecanismo de limpeza é por jato reverso ou jato pulsante e a razão ar - tecido variando de 6:1 a 16:1. Esses filtros, em geral são mais caros do que os trançados e a lã é a única fibra capaz de produzir o verdadeiro tecido feltrado, contudo, as fibras sintéticas podem ser agulhadas formando feltros. Assim, esses tecidos são confeccionados a partir da lã, dracon, nylon, nomex, polipropileno e teflon, sendo que algodão e fibras de vidro não são utilizados neste caso.

Para os efluentes gasosos serem tratados com segurança pelos filtros de tecido, as temperaturas devem ser reduzidas até 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 se deve ao fato da umidade no interior do filtro propiciar 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 a ser tratado.

B.3.3. DIMENSIONAMENTO DE FILTROS

No dimensionamento de filtros de tecido, os principais fatores a serem considerados são: a velocidade ótima de filtração (função do tipo de poluente e do mecanismo de limpeza), o número de mangas necessário e o tipo de tecido a ser empregado (função das características físicas do gás carreador).

B.3.3.1. DIMENSÃO DAS MANGAS

As dimensões de mangas circulares variam entre 0,1 a 1,0 m no diâmetro e entre 1 e 10 m na altura. Dimensões e geometrias especiais podem ser obtidas sob encomenda. Para uma aproximação mais exata nas dimensões das mangas recomenda-se consultar os fabricantes e/ou os fornecedores.

B.3.4. PROCEDIMENTOS PARA O DIAGNÓSTICO E CORREÇÃO DE DEFEITOS OPERACIONAIS EM FILTROS DE TECIDO (4)

(JP= jato pulsante; AM = agitação mecânica; FR= fluxo reverso).

SINTOMA	CAUSA	CORREÇÃO
Alta queda de pressão na casa do filtro	Casa do filtro pequena	Consultar fabricante. Instalar mangas duplas. Instalar mais compartimentos ou módulos.
	Mecanismo de limpeza das mangas não está bem ajustado	Aumentar frequência de limpeza. Maior duração do jato de limpeza. Aumentar potência do jato de limpeza.
	Baixa pressão do ^{AR} comprimido (JP, FR)	Aumentar pressão diminuir duração e/ou frequência. Verificar secador e limpar se necessário. Verificar obstruções na linha.

SINTOMA	CAUSA	CORREÇÃO
	Baixa pressão de repressurização (FR)	Aumentar velocidade do ventilador de repressurização. Verificar vazamentos. Verificar selos dos registros.
	Agitação não é forte o suficiente (AM)	Aumentar velocidade do agitador.
	Registros de isolamento não fecham (JP, AM, FR)	Verificar vazamentos. Verificar selos. Verificar suprimento de ar nos operadores pneumáticos.
	Mangas frouxas (AM)	Apertar as mangas.
	Falhas nas válvulas pulsantes (JP)	Verificar diafragma. Verificar válvulas piloto.
	Defeito no timer de limpeza	Verificar o estado das conexões do timer com os outros componentes.
	Incapacidade de remoção de pó das mangas	<ul style="list-style-type: none"> - Condensação nas mangas. - Mandar amostra do pó para os fabricantes do filtro. - Submeter a manga a análise de laboratório para saber motivo do entupimento. - Limpeza a seco das mangas ou troca. - Reduzir vazão de ar.
	Arraste excessivo de pó na saída do filtro	<ul style="list-style-type: none"> - Tremonha constantemente vazia. - Limpar as fileiras de mangas de maneira aleatória e não sequencial (JP, FR).
	Leitura incorreta da pressão	Verificar mangueiras quanto a vazamentos. Verificar fluido no manômetro. Verificar o diafragma no manômetro.
Baixa amplitude do motor do ventilador/ Baixa vazão	Casa do filtro alta	Veja acima.

SINTOMA	CAUSA	CORREÇÃO
Pó escapando da fonte poluidora	Motor e ventilador girando em sentido contrário	Checar contra projeto e reverter o sentido.
	Dutos entupidos	Limpar os dutos e verificar velocidades de transporte.
	Registro do ventilador fechado	Abra o registro e ajuste posição.
	Sistema compressão estática muito alta	<ul style="list-style-type: none"> - Medir a pressão estática em ambos os lados do ventilador e checar contra projeto. - Velocidades de transporte muito alta nos dutos. - Projeto do sistema de dutos não é apropriado.
	Ventilador operando fora especificações de projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar configuração da entrada do ventilador.
	Correias do ventilador patinando	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar tensão e ajustar.
	Vazão de controle insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> - Veja acima.
	Vazamento nos dutos	Vedar vazamentos.
	Sistema de dutos mal balanceado	Ajustar registros nos ramais.
	Projeto inadequado do captor	<ul style="list-style-type: none"> - Fechar áreas abertas ao redor da fonte poluidora. - Verificar tiragens cruzadas (ventos fortes perto da fonte). - Verificar arrastamento de pó para fora do captor devido a correias, etc.
Descarga de pó pela chaminé	Mangas vazando	<ul style="list-style-type: none"> - Substituir mangas - Isolar o compartimento em que está havendo o vazamento.
	Grampo de fixação das mangas não está vedando	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar e ajustar os grampos

SINTOMA	CAUSA	CORREÇÃO
		- Acomodar melhor o teci <u>do</u> sob os grampos e re <u>grampear</u> .
	Falha na vedação das juntas na conexão ar limpo/ar sujo	- Calafetar ou soldar as juntas.
	Formação insuficiente da camada de pó (bolo) de filtragem	- Reduzir frequência de limpeza.
	Mangas muito porosas	Realizar teste de impermeabilidade nas mangas e consultar fabricante.
Abrasão excessiva no ventilador	Ventilador manejando muito pó	Veja acima.
	Ventilador não apropriado	Consultar fabricante.
	Ventilador com velocidade de muito alta	Consultar fabricante.
Vibração excessiva no ventilador	Acumulo de sujeira nas pás do rotor	- Desmontar, limpar. - Verificar se o ventilador maneja muito pó. - Evitar entrada de água na voluta.
	Ventilador dotado do rotor inadequado	Consultar fabricante.
	Polia não balanceada	Balancear dinamicamente a polia.
	Mancais gastos	Substituir mancais.
Alto consumo de ar comprimido	Ciclo de limpeza muito frequente	Reduzir ciclo de limpeza se possível.
	Pulso do jato muito longo	Reduzir duração do jato.
	Pressão muito alta	Reduzir suprimento de pressão, se possível.
	Registros não estão vedando	Verificar vazamentos. Verificar vedação.
	Defeito na válvula diafragma	Verificar molas a diafragmas. - Verificar válvula piloto.

SINTOMA	CAUSA	CORREÇÃO
Baixa pressão no ar comprimido (JP, FR)	Consumo muito alto de ar comprimido Obstáculos na tubulação Secador entupido Compressor desgastado	Veja acima. Verificar tubulação. Substituir material higroscópico. Substituir anéis.
Colapso prematuro das mangas/decomposição	Material da manga impróprio para a composição química do pó ou do gás	- Analisar gás ou pó e consultar fabricante - Neutralizar gás ou pó antes de entrar na casa do filtro.
Umidade na casa do filtro	Pré aquecimento insuficiente Sistema não foi purgado depois de desligado Temperaturas das paredes da casa do filtro abaixo do ponto de orvalho Umidade introduzida pelo ar comprimido (JP, FR) Condensação causada pelo ar de repressurização (FR)	- Acione o sistema com ar quente somente antes de processar a vazão do processo. - Mantenha o ventilador funcionando por 5 -10 minutos depois da paralisação do processo. - Aumentar temperatura do gás. - Isolar as paredes. - Retirar umidade do sistema.
Desgaste excessivo no transportador helicoidal (tremonha)	Transportador mal dimensionado Velocidade excessiva do transportador	Verificar dreno automático. Instalar pós resfriador. Instalar secador. - Pré aquecer ar de repressurização. - Empregue gás de processo como ar de repressurização se possível.
Desgaste excessivo do sistema de vedação da tremonha	Sistema subdimensionado Expansão térmica	Meça a coleta horária de pó e consulte fabricante. Reduzir velocidade. Meça a coleta horária de pó e consulte fabricante. Consultar fabricante e verificar se o projeto tolera expansão térmica.

SINTOMA	CAUSA	CORREÇÃO
Acumulo de material na Tremonha	Velocidade muito alta	Reduzir velocidade.
	Umidade na casa do filtro	Veja acima.
	Material confinado na tremonha por longos períodos	Remover o pó continuamente.
	Angulo de queda insuficiente na tremonha	Corrigir esse angulo (fazer mais fechado) ou substituir a tremonha.

B.3.5. CUSTO DE OPERAÇÃO

O custo de operação anual dos filtros de tecido recai basicamente, no dispêndio energético para manutenção do fluxo gasoso através do elemento filtrante. Esta energia é consumida pelo ventilador. Assim, uma estimativa deste custo operacional é dada pela equação:

$$CO = T \times C_K \times \frac{P_v}{36710 \times \eta_v} \times Q_G$$

ONDE: CO = custo de operação anual (Cr\$/ano)

T = tempo de funcionamento (h/ano)

T_{max} = 8.760 h (1 ano)

C_K = custo do kWh (Cr\$/kWh)

P_v = pressão total a ser vencida pelo ventilador (cm C.A.)

η_v = eficiência do ventilador

Q_G = vazão de projeto dos gases a serem tratados (m³/h).

Eventualmente outras despesas podem ocorrer, em função de equipamentos paralelos utilizados na limpeza das mangas. Um exemplo disso é a energia gasta para funcionar as unidades de fluxo reverso.

REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

01. TOMANY, James P. Air Pollution: The Emissions, the Regulations, and the Controls. New York, American Elsevier Publishing Co., Inc., 1975
02. BILLINGS, Charles E., et al. Fabric Filter Systems Study. NTIS, December 1970
03. GRUBER, Charles W. Air Quality Control Notes 2nd. Cincinnati University, September 1975.
04. SZABO, M.F. et al. Operation and Maintenance of Particulate Control Devices on Selected Steel and Ferroalloy, etc... Pedco Environmental, Inc. Cincinnati - Ohio - PB 282 256 - March/78

B.4. PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS

B.4.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A separação de partículas suspensas em uma corrente gasosa, pelo mecanismo da precipitação eletrostática, abrange três etapas básicas: (a) o carregamento elétrico das partículas suspensas; (b) a coleta das partículas carregadas em uma superfície ligada à terra e (c) a remoção das partículas coletadas.

Embora a maioria das partículas possuam uma pequena carga elétrica previamente acumulada por atrito, utiliza-se o efeito corona para promover uma eletrificação adicional que possa levar as partículas a uma saturação de carga.

A corona é estabelecida entre um eletrodo mantido a alta voltagem e uma superfície de coleta aterrada. O material particulado passando através da corona está sujeito a um bombardeamento intenso de íons negativos que escoam do eletrodo de alta voltagem para a superfície de coleta aterrada. Desse modo, as partículas tornam-se altamente carregadas, numa fração de segundos, e migram para as superfícies de coleta ligadas à terra.

B.4.2. CLASSIFICAÇÃO

Funcionalmente, os precipitadores eletrostáticos podem ser classificados segundo:

- a. A voltagem aplicada aos eletrodos
 - .alta voltagem > 30 kV
 - .baixa voltagem até 30 kV
- b. O eletrodo de descarga
 - .corona positivo (geralmente de baixa voltagem, para uso comercial)
 - .corona negativo (alta voltagem, para uso industrial)
- c. O número de estágios
 - .simples estágio, com carga e deposição simultâneas
 - .duplo estágio, com carga e deposição de

fasadas

4. A geometria do eletrodo de coleta
 - . tubulares (figura B.17)
 - . placas planas (figura B.18)

B.4.3. CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL A SER COLETADO

A resistividade é a propriedade de uma substância que caracteriza sua resistência elétrica. Ela varia de 10^{-3} ohm - cm (negro de fumo) a 10^{14} ohm - cm (pedra calcárea seca) para partículas encontradas na operação industrial dos precipitadores.

B.4.3.1. PARTÍCULAS DE BAIXA RESISTIVIDADE

Partículas tendo resistividade baixa (até 10^4 ohm - cm) são difíceis (ou impossíveis) de reter no eletrodo de coleta pois, perdem sua carga negativa muito rapidamente e, então, adquirem carga positiva. Se a força elétrica, resultante das cargas positivas, é suficientemente grande para superar as forças coesivas das partículas, elas serão repelidas em direção ao fluxo gasoso, sendo novamente carregadas e precipitadas até saírem da zona de interferência do eletrodo de coleta.

B.4.3.2. PARTÍCULAS DE ALTA RESISTIVIDADE

As partículas de alta resistividade ($> 2 \cdot 10^{10}$ ohm - cm) são incapazes de abandonar sua carga ao eletrodo de coleta. Quando se forma uma camada de partículas no eletrodo, ela atua como um isolante. A perda de potencial através dessa camada pode atingir valores muito altos e ter um efeito adverso na descarga da corona estabelecendo-se uma descarga secundária na camada de partículas coletadas. Esta condição é chamada "back corona" e pode prejudicar seriamente a performance do precipitador.

B.4.3.3. PARTÍCULAS DE RESISTIVIDADE INTERMEDIÁRIA

Quando as partículas apresentam média resis

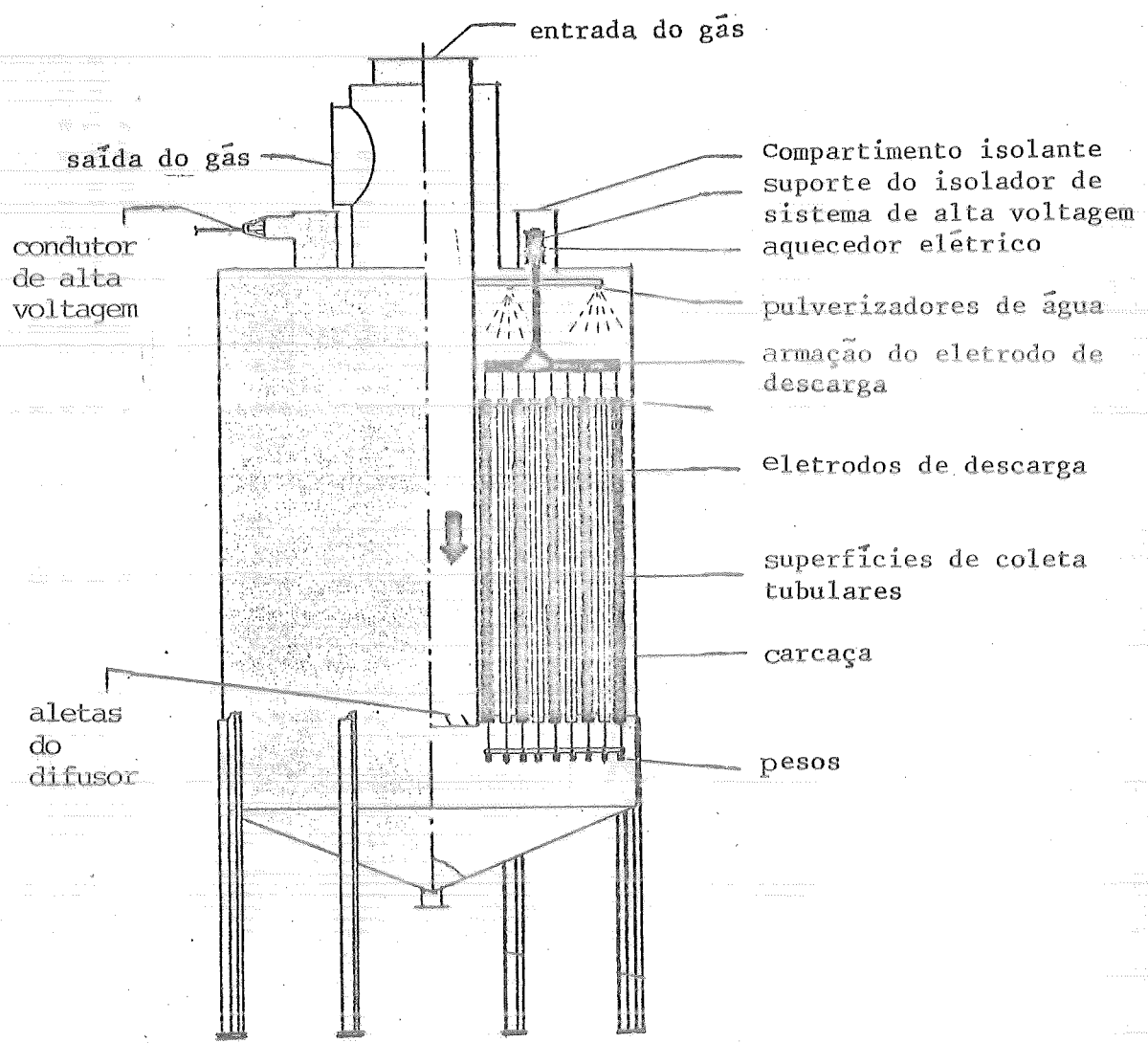
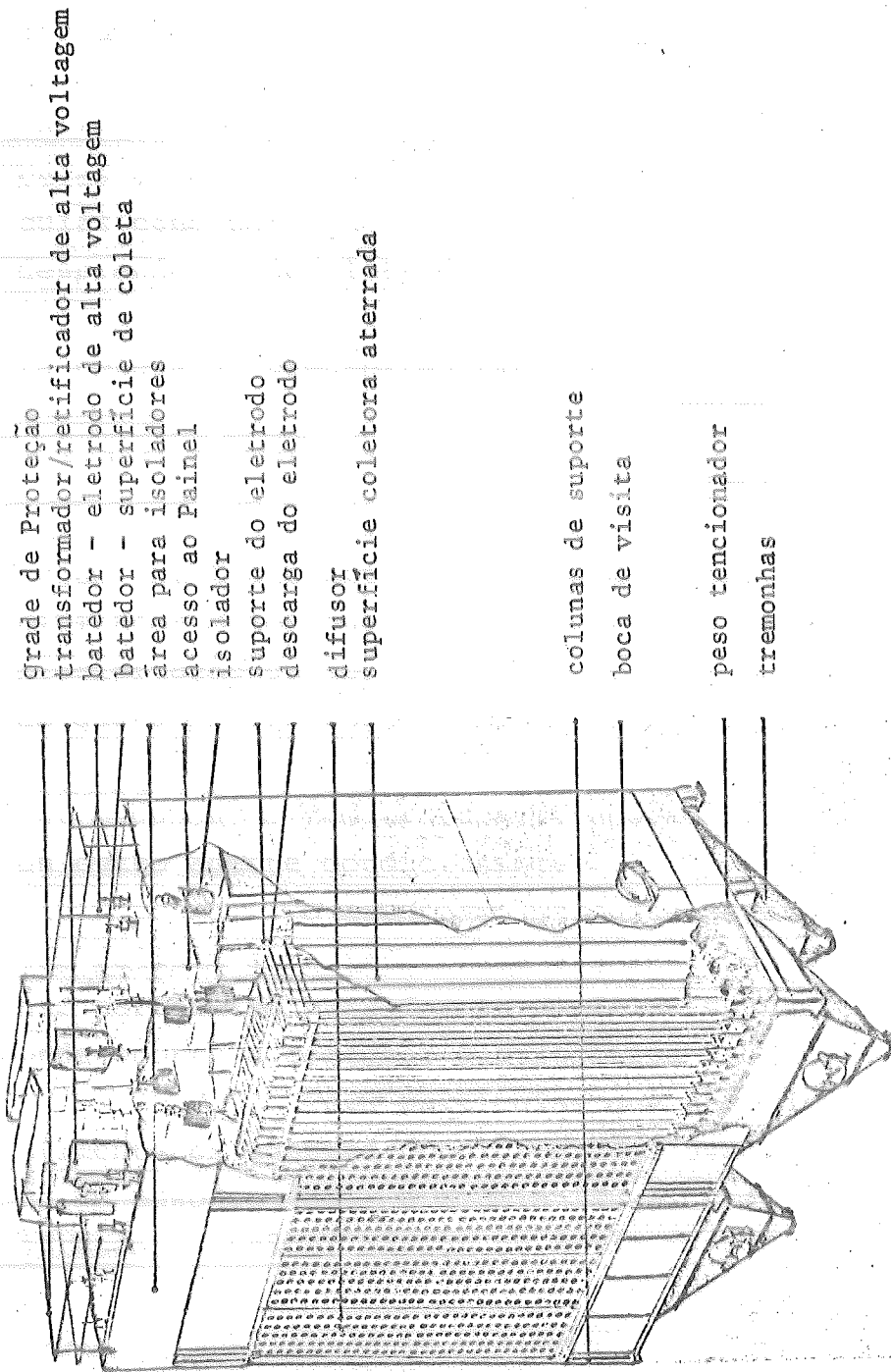


FIGURA B.17 - Precipitador eletrostático de eletrodos tubulares



Grade de Proteção
 transformador/retificador de alta voltagem
 batedor - eletrodo de alta voltagem
 batedor - superficie de coleta
 area para isoladores
 acesso ao Painel
 isolador
 suporte do eletrodo
 descarga do eletrodo
 difusor
 superficie coletora aterrada

colunas de suporte
 boca de visita

peso tencionador
 tremonhas

FIGURA B.18 - Precipitador eletrostatico de placas planas

tividade (10^4 ohm - cm até 2.10^{10} ohm - cm) abandonam parte de sua carga ao eletrodo de coleta. À medida que a camada de pó se forma, a perda de potencial também aumenta até atingir uma condição de equilíbrio. Carga negativa suficiente é retida pelas partículas para manter uma força de atração entre elas e o eletrodo de coleta. Quando o peso das partículas coletadas torna-se suficientemente grande, as partículas caem por ação da gravidade ou são provocadas a se desprenderem do eletrodo de coleta.

Essas partículas são as mais apropriadas para coleta em precipitadores eletrostáticos.

B.4.3.4. CONDICIONAMENTO DAS PARTÍCULAS

Para que partículas de alta resistividade sejam coletadas eficientemente devemos: (a) projetar um precipitador maior que o normal para suprir a menor taxa de precipitação ou (b) alterar a resistividade para uma faixa em que a precipitação é mais favorável.

A resistividade elétrica pode ser alterada por mudança na temperatura de operação, adição de umidade ou outro agente condicionante.

O mecanismo pelo qual agentes condicionantes reduzem a resistividade é a adsorção desses agentes nas partículas para formar um filme superficial de líquido onde ocorre a condução eletrolítica da carga acumulada.

Para partículas que não adsorvem umidade facilmente os agentes condicionantes usados devem ser trióxido de enxofre (SO_3) e amônia (NH_3), caso o particulado apresente caráter básico ou ácido, respectivamente.

B.4.3.5. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E UMIDADE NA RESISTIVIDADE

A figura B.19 mostra o efeito da temperatura e teor de umidade na resistividade de fumos de chumbo provenientes de uma planta de sinterização. O valor do ponto de máximo das curvas de resistividade aumenta com o aumento da temperatura e diminuição do teor de umidade.

B.4.4. REMOÇÃO DO PÓ DOS ELETRODOS DE COLETA

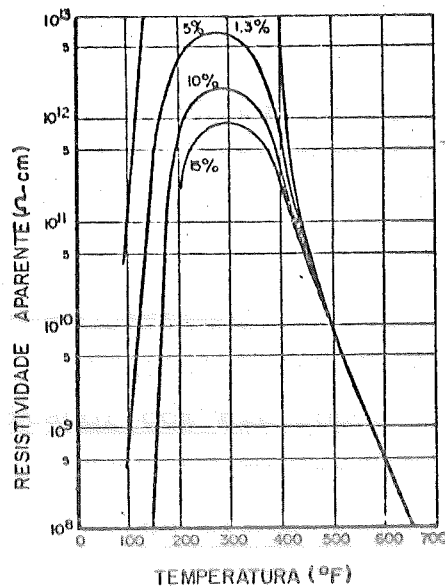


FIGURA B.19 - A curva representa a resistividade superficial de fumos de chumbo provenientes de uma sinterização.

Uma vez que o pó ou fumo foi precipitado no eletrodo ou placa de coleta, deve ser removido a uma treminha ou depósito de estocagem para manter a boa eficiência de coleta do precipitador.

Os métodos de remoção usados industrialmente são: (1) um filme de água contínuo percorrendo a superfície do eletrodo descendentemente e arrastando o pó precipitado; (2) percussão do eletrodo e (3) sopro de ar a alta velocidade.

O método do filme de água é normalmente aplicado a precipitadores com eletrodos de coleta tubulares devido à melhor distribuição da água sobre a superfície de coleta. As principais vantagens na aplicação desse método são: (1) as partículas são removidas continuamente; (2) elimina-se a reentrada das partículas e (3) evita-se o problema causado por partículas de alta resistividade porque a água é um bom condutor de eletricidade.

A percussão dos eletrodos é o método de limpeza mais comum. Nesse método, grupos de placas de coleta são fixadas por meio de uma barra de percussão. O final da barra é batido por peso para sacudir o pó dos eletrodos. É normal dividir os eletrodos de coleta em unidades menores de modo que cada seção possa ser limpa independentemente. A vantagem disso é que as seções são limpas uma após a outra.

ao invés de todas de uma vez. O ciclo de limpeza ótimo não pode ser previsto enquanto o precipitador está sendo projetado, geralmente é feito quando o precipitador está sendo testado.

B.4.5. EFICIÊNCIA DE COLETA

Uma das formas usuais da equação da eficiência do precipitador com eletrodos tipo placas e tubular é:

$$\eta = 100 (1 - e^{-As \cdot Wp/Q})$$

onde: η = eficiência do precipitador (%)

As = área superficial total de coleta (m^2)

Wp = parâmetro de precipitação (m/s)

Q = vazão do fluxo gasoso (m^3/s)

A equação mostra que para uma dada eficiência de coleta, η , o tamanho do precipitador é inversamente proporcional a velocidade das partículas e diretamente proporcional à vazão do fluxo gasoso, mas é independente da velocidade do fluxo gasoso. Apesar da teoria, contudo, a eficiência é uma função da velocidade do gás devido ao rearraste das partículas que aumenta com o aumento da velocidade do gás.

O fator Wp apresentado na tabela B.6 a seguir, é um parâmetro empírico que leva em consideração os efeitos ou perdas devidas a limpeza dos eletrodos, distribuição do fluxo gasoso, distribuição do tamanho das partículas e resistividade das partículas.

B.4.6. PERDA DE CARGA

O precipitador eletrostático tem uma perda de pressão extremamente pequena comparada a outros equipamentos de controle de alta eficiência (2,5 a 12,5 mm de C.A.).

B.4.7. SELEÇÃO PRÁTICA DE UM PRECIPITADOR

Para dimensionar e projetar um precipitador os fatores mais importantes são:

- (a) eficiência de coleta desejada
- (b) vazão do fluxo gasoso, incluindo o máximo valor esperado.
- (c) temperatura, pressão, composição e teor de umidade do gás.
- (d) concentração das partículas na entrada do precipitador.
- (e) propriedades das partículas: densidade, distribuição do tamanho das partículas, resistividade e composição.
- (f) características corrosivas do gás e das partículas.
- (g) perdas permissíveis no precipitador
- (h) características elétricas: voltagem, frequência e fase.
- (i) localização do precipitador em função do "lay out" da indústria.
- (j) disposição do particulado coletado.
- (k) descrição do processo e capacidade da planta.

O projeto de precipitadores eletrostáticos é sempre empírico e é baseado em experiências prévias com processos similares ou sobre resultados de estudos de instalações piloto. A tabela B.7 mostra valores médios para a maioria das variáveis de projeto.

B.4.8. PROBLEMAS DE COMPARAÇÃO

A operação eficiente de um precipitador eletrostático requer o controle de uma série de variáveis.

A temperatura do gás deve ser considerada acima do ponto de orvalho para prevenir a corrosão. O fluxo gasoso a uma temperatura muito alta afeta desfavoravelmente a resistividade do pó e aumenta a vazão e a viscosidade do gás.

Se a resistividade do pó é um problema, a umidade do gás deve ser mantida alta e, a adição dos agentes condicionantes deve ser rigorosamente controlada.

TABELA B.6. VALORES TÍPICOS DO PARÂMETRO DE PRECIPITAÇÃO

APLICAÇÃO	PARÂMETRO DE PRECIPITAÇÃO (mm/s)
Calcinador instantaneo	75
Calcinador de fornalha múltipla	78
Carvão pulverizado (cinzas)	100 - 132
Cubilô para ferro cinzento (razão ferro/coque = 10)	30 - 36
Fábricas de papel	75
Fabricação de cimento Portland (processo úmido)	100 - 111
Fabricação de cimento Portland (processo seco)	57 - 69
Forno Siemens - Martin	57
Gesso	156 - 192
Névoas ácidas (H_2SO_4)	57 - 75
Óxido de titânio (TiO_2)	57 - 75
Pó de catalisador	75

FONTE.: Air Pollution Engineering Manual - Danielson.

TABELA B.7 - Valores típicos de algumas variáveis de projeto usadas na prática comercial de precipitadores.

Variável de projeto	Faixa normal de valores
. espaço entre as placas	20 a 28 cm
. velocidade através do precipitador	0,61 a 2,44 m/s
. altura vertical das placas	3,60 a 7,20 m
. largura das placas horizontais	0,5 a 1 x altura
. voltagem aplicada	30 a 75 kV
. velocidade de migração	0,03 a 0,21 m/s
. temperatura do gás	até 370°C - normal 540°C - alta 700°C - casos especiais
. perda de carga	2,5 a 12,5 mm C.A.
. eficiência	até 99,9% normal: 90 a 98%
. corrente na corona	0,03 a 3,28 mA/m fio
. força do campo	275 a 590 kV/m

Fonte.: Air Pollution Engineering Manual

A voltagem deve ser conservada tão alta quanto possível, sem produzir excessivo faiscamento, a fim de conservar o carregamento e o campo de precipitação elevados.

O controle apropriado do sistema de limpeza dos eletrodos é importante para evitar acumulação de pó e minimizar o seu rearraste.

B.4.9. VANTAGENS E DESVANTAGENS

As principais vantagens na aplicação dos precipitadores eletrostáticos são:

- . alta eficiência de coleta (em alguns casos pode exceder 99%)

- . coleta partículas muito pequenas (teoricamente não existe limite de tamanho da partícula a ser coletada)
- . pós podem ser coletados a seco para recuperação de material valioso
- . baixa perda de pressão e temperatura
- . operam continuamente e exigem pequena manutenção
- . podem ser usados a altas temperaturas
- . coletam névoas ácidas e partículas de alcatrão que são difíceis de coletar por outros métodos
- . podem coletar materiais extremamente corrosivos desde que feitos com material especial.
- . podem ser manuseadas vazões muito grandes
- . pequena potência consumida

Algumas de suas desvantagens são:

- . alto custo inicial
- . não são facilmente adaptáveis a condições variáveis
- . menor eficiência de coleta para materiais de alta ou baixa resistividade
- . espaço requerido muito grande comparado a outro equipamento
- . a precipitação elétrica não se aplica à remoção de substâncias na fase gasosa

B.4.10. APLICAÇÕES

Os precipitadores eletrostáticos são normalmente usados quando a maioria das partículas a serem coletadas têm diâmetro médio menor que 20 μm . São comumente aplicados nas usinas termoelétricas, plantas de cimento, acrias, fundições de metais não ferrosos, fábricas de celulose e papel, indústrias químicas, refinarias de petróleo, etc.

B.4.11. DEFEITOS MAIS COMUNS EM PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS

(5)

Muitos componentes do precipitador eletros

tático estão sujeitos a falhas ou mau funcionamento, causando um aumento nas emissões. Estas falhas e avarias poderão resultar também de projeto, instalação ou operação do precipitador, realizados de maneira errônea. A redução na eficiência de coleta é variável, sendo função da gravidade da avaria. A maioria dos defeitos estão interligados, isto é, um desarranjo força o aparecimento de outro.

Os defeitos mais comuns associados a operação de precipitadores eletrostáticos ocorrem na quebra dos eletrodos de descarga e entupimento nas tremonhas de coleta. Outros componentes que apresentam defeitos, embora em menor intensidade, são os batedores ou vibradores e os isoladores suspensos.

B.4.11.1. QUEBRA DOS ELETRODOS DE DESCARGA

Quando há quebra de um eletrodo de descarga, isto geralmente causa um curto circuito entre o sistema de descarga de alta tensão e a placa coletora que está aterrada. Este curto leva a uma queda no circuito, inutilizando uma seção do precipitador. Este tipo de avaria poderá causar, entre outras coisas, erosão elétrica, fadiga mecânica e acúmulo de pó na tremonha.

O impacto da quebra dos eletrodos, sobre a eficiência e a disponibilidade do precipitador será função da frequência de quebras, do grau de seccionalização e da dificuldade existente para a remoção destes eletrodos defeituosos, estando o precipitador em operação.

A maioria dos precipitadores não apresenta isolamento adequado para permitir o acesso seguro ao seu interior, estando a unidade em funcionamento. Em vista disso, é necessário desativar o precipitador para a remoção dos eletrodos quebrados.

Para minorar a ocorrência deste tipo de avaria, ainda na fase de projeto, constrói-se os eletrodos de descarga com material apropriado e na forma de superfícies lineares e redondas para reduzir o centelhamento localizado.

Outro método de prevenção é realizado na fase de manutenção, onde uma inspeção frequente ajudará a prevenir avarias através da descoberta de problemas tais como batimento inadequado e acúmulo de sujeira na tremonha.

Devido ao elevado número de eletrodos contidos em um precipitador eletrostático, pode-se esperar quebras daqueles, por melhor que sejam os programas de operação e manutenção.

B.4.11.2. TREMONHAS COLETORAS E REMOÇÃO DO PÓ

A principal causa de aparecimento de defeitos em precipitadores é a remoção inadequada do pó coletado.

As causas mais comuns da descarga deficiente em tremonhas são o ajuste inadequado dos vibradores de limpeza ou falha no sistema de transporte de material coletado.

Outros fatores que causam entupimento são (a) vazões exauridas a baixa temperatura e (b) infiltração de ar para dentro da tremonha. Ambas situações favorecem a condensação da umidade contida na vazão.

A formação de depósitos de material coletado poderá causar curto circuito no precipitador e centelha-mento excessivo, que erodirá os eletrodos e as vezes, empurrará os componentes internos para fora da posição, causando um desalinhamento que afetará drasticamente o desempenho do precipitador.

Portanto, para a eliminação ou minimização das avarias mais comuns em precipitadores eletrostáticos deve-se instituir um esquema de inspeção apropriado para o sistema de remoção de material coletado.

B.4.11.3. BATEDORES OU VIBRADORES DE LIMPEZA

A limpeza dos eletrodos de coleta, quando realizada por um batimento adequado, minimiza a quantidade de material coletado que volta ao fluxo gasoso.

Caso a limpeza por batimento seja muito intensa e frequente, haverá muita reentrada de pó na vazão que deixa o precipitador. Por outro lado, uma limpeza mais lenta e inadequada dos eletrodos de descarga resultará em (a) grande acúmulo de material localizado sobre o corona, (b) centelhamento excessivo, (c) desempenho desigual e (d) possível aterramento (isolamento) do sistema de alta voltagem.

O primeiro passo ao se deparar com problemas relacionados a batedores/vibradores é determinar o ponto ótimo da aceleração de batimento.

Para isto pode-se instalar um acelerômetro sobre as placas e observar a quantidade de pó na vazão que sai do precipitador, através de um instrumento ótico para medida do pó suspenso.

Após atingir-se o ponto ótimo de aceleração, a intensidade do batimento será então limitada somente pela possibilidade de dano mecânico aos eletrodos e estrutura suportante.

B.4.11.4. FALHAS NO ISOLADOR E NO SUPORTE DE ELETRODOS

Os isoladores suspensos são empregados para suportar e isolar as partes do precipitador dotadas de alta voltagem. Uma pressurização inadequada do enclausuramento superior dos isoladores poderá favorecer a deposição de pó ou a condensação de umidade sobre o suporte, resultando uma pane elétrica. A fadiga e a quebra dos isoladores reduz os níveis de voltagem e o desempenho do coletor.

As medidas preventivas incluem a inspeção dos exaustores instalados no setor e a instalação de um ventilador sobressalente, para emergências. Outra medida seria a limpeza frequente dos ventiladores e sua verificação contra danos causados por vibração.

B.4.12. CUSTOS DE OPERAÇÃO

O único custo operacional considerado, no trabalho com precipitadores eletrostáticos é o custo da energia gasta na ionização do gás, uma vez que a perda de

carga do sistema geralmente é menor que 12,5 mm de coluna de água. A energia gasta é uma função básica da eficiência de coleta e do tamanho do equipamento.

O custo de operação de um precipitador eletrostático pode ser estimado pela equação:

$$CO = V \times P \times T \times C_k$$

onde: CO = custo de operação anual (Cr\$/ano)

V = capacidade volumétrica do precipitador (m³/h)

P = consumo energético em $\frac{kW}{m^3/h}$

T = tempo total de operação (h/ano)

(T_{max.} = 8760 h = 1 ano)

C_k = custo do kWh (Cr\$/kWh)

A tabela B.8 apresenta algumas estimativas de consumo energético versus eficiência de coleta para precipitadores eletrostáticos de alta e baixa voltagens.

TABELA B.8 - Consumo energético de precipitadores eletros-táticos como função da eficiência de coleta e da característica do precipitador.

Eficiência	Característica do Precipitador	
	Alta Voltagem	Baixa Voltagem
Baixa	0,11	0,009
Média	0,15	
Alta	0,24	0,024

Fonte.: Control Techniques For Particulate Air Pollutants
(PB-190253)

B.4.13. PROBLEMAS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO ESPECÍFICOS DA
APLICAÇÃO DE PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS A PROCESSOS
SIDERÚRGICOS (5)

A corrosão é um dos problemas básicos que contribuem para a perda de eficiência.

O ataque da corrosão, causando perda e diminuição da área de coleta, irá favorecer o aumento do centelhamento no final da placa corroida, o que neutraliza o campo temporariamente, prejudicando o desempenho do precipitador. Ainda mais, a perda da área da placa poderá causar fluxos secundários (fluxos cruzados entre as passagens de gás) que irão fazer com que ocorra reentrada das partículas coletadas no fluxo gasoso que deixa o precipitador.

A turbulência localizada na superfície corroida pode afetar adversamente a captação da partícula na superfície da placa.

Todos os problemas potenciais de corrosão devem ser previstos ainda na fase de projeto, para a escolha dos materiais de construção adequados e dos métodos de proteção aos mesmos.

Todos os pontos de entrada de ar para o interior do precipitador deverão ser eliminados. Em alguns casos os eletrodos de descarga podem ser atacados pela corrosão. A ocorrência de virolas ("ferrules") sobre os fios pode causar corrosão significativa. Esta pode resultar de uma interação galvânica entre o eletrodo de descarga e a virola, ataque por halogenios sobre a virola (que pode levar à corrosão por fadiga), ou ataque ácido sobre a virola. Para remédial isto, os eletrodos sobressalentes para uma dada instalação, deverão ter as virolas feitas do mesmo material que constitui os eletrodos de descarga.

Tal mudança não irá eliminar a corrosão nos eletrodos de descarga, mas assegurará uma redução na taxa de corrosão entre o eletrodo de descarga e a virola.

Outro problema é a ação da alta voltagem, sobre os isoladores como resultado da formação de condensado nos compartimentos isolantes de instalações localizadas em

áreas de clima frio. Em tais casos deve-se aumentar o suprimento de pressão e temperatura à serpentina a óleo do compartimento isolador para prevenir a formação de condensado. Ainda mais, as linhas de purga deverão ser encamisadas com vapor e isoladas novamente.

As partes componentes de um precipitador eletrostático que mais problemas de manutenção apresentam na indústria metalúrgica são os batedores/vibradores, seguidos pelos isoladores e eletrodos de descarga, placas de coleta e sistemas de remoção de pó.

REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIAS

01. STERN, Arthur C. Air Pollution 3th.
New York, Academic Press, 1976 V3.
02. DANIELSON, John A. Air Pollution Engineering Manual
2nd. N.C., E.P.A., May 1973.
03. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Eletrostatic
Precipitators New York, 1961.
04. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION AND WELFARE. Control
Techniques for Particulate Air Pollutants.
Washington D.C., January 1969.
05. SZABO, M.F., et al. Operation and Maintenance of Par
ticulate Control Devices on Selected Steel and Fer
roalloy, etc.,. Pedco Environmental Inc., Cincinna
ti, Ohio - PB 282 256, March/78.

ANEXO C - CUSTOS DE CONTROLE

ANEXO C - CUSTOS DE CONTROLE

C.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 recursos a serem empregados no controle da poluição, utilizando-os da maneira a mais racional.

A estimativa dos investimentos deve partir da definição dos níveis de redução de poluentes desejada, 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 muitos 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 econômicos.

Uma análise técnica é necessária em cada caso, baseando-se nas fases do processo de produção, tipos de carga, potência elétrica aplicada, duração dos ciclos operacionais, de talhes dimensionais dos fornos, dos edifícios, áreas previstas para instalação e possíveis interferências na produção.

C.2. EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO

Os equipamentos básicos para o controle de material particulado emitido pelos diferentes processos industriais, disponíveis no mercado são: precipitadores eletrostáticos, de puradores úmidos, filtros de tecido e ciclones.

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 do efluente gasoso e baixo consumo de energia elétrica, o que influe no seu custo operacional. Suas desvantagens residem na impossibilidade de uso quando de misturas gasosas próximas ao limite de explosividade, além de exigirem, em alguns casos, um pré-condicionamento do efluente gasoso com vapor de água, névoas de ácido sulfúrico, amônia, ou substâncias orgânicas, 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 coletado. Tem como desvantagem a baixa resistência às altas temperaturas, o que exige, para seu uso, novos investimentos em sistemas para resfriamento dos gases.

c) Os depuradores úmidos oferecem a possibilidade de coleta de gases e partículas simultaneamente. Geralmente menor que os demais equipamentos, ocupa menos espaço, podendo ser instalado 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 desta forma novos investimentos. Os depuradores úmidos têm 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 equipamentos 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.

C.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.)
- Modificação 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 esta 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.

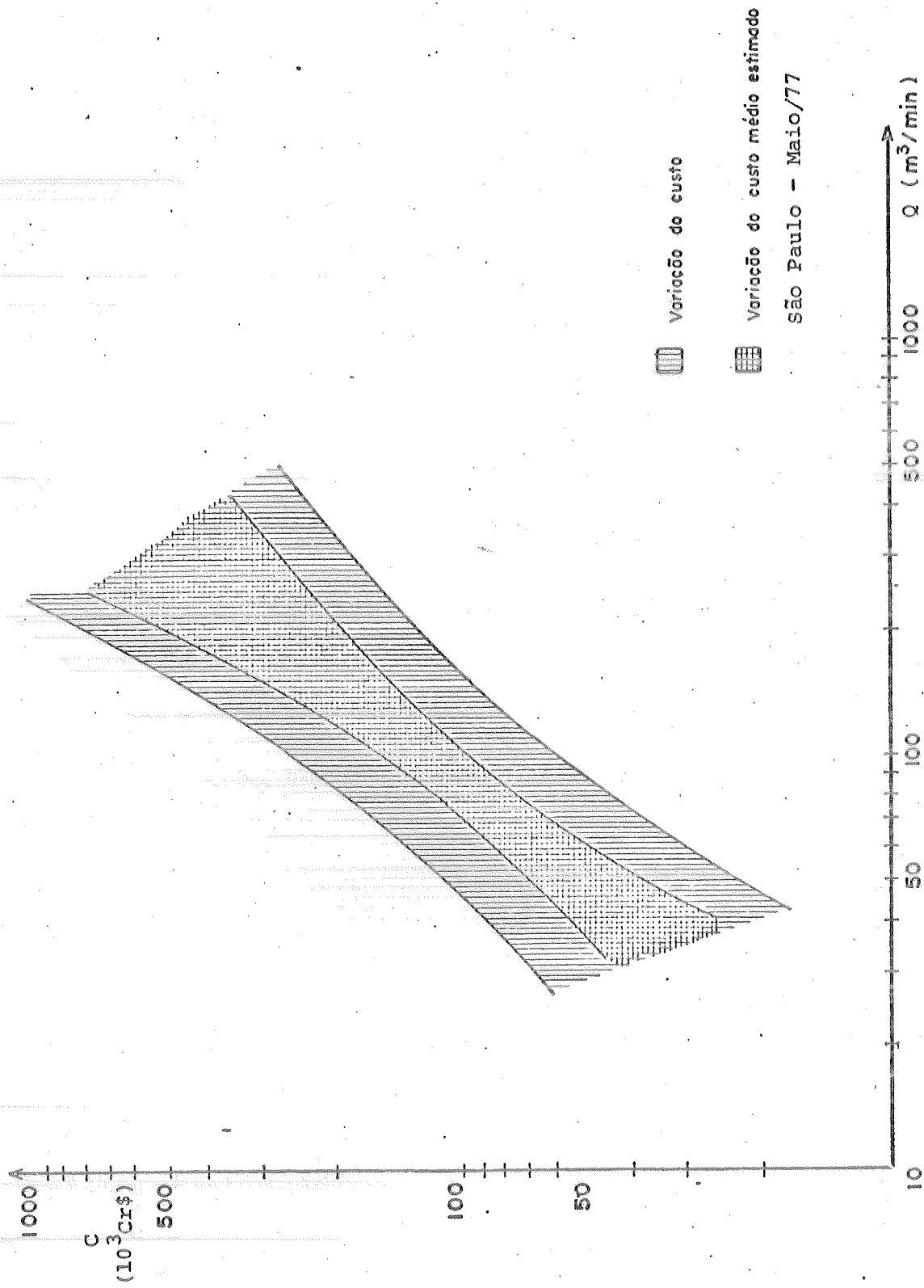


FIGURA C.1. Variação do custo para aquisição de ciclones.

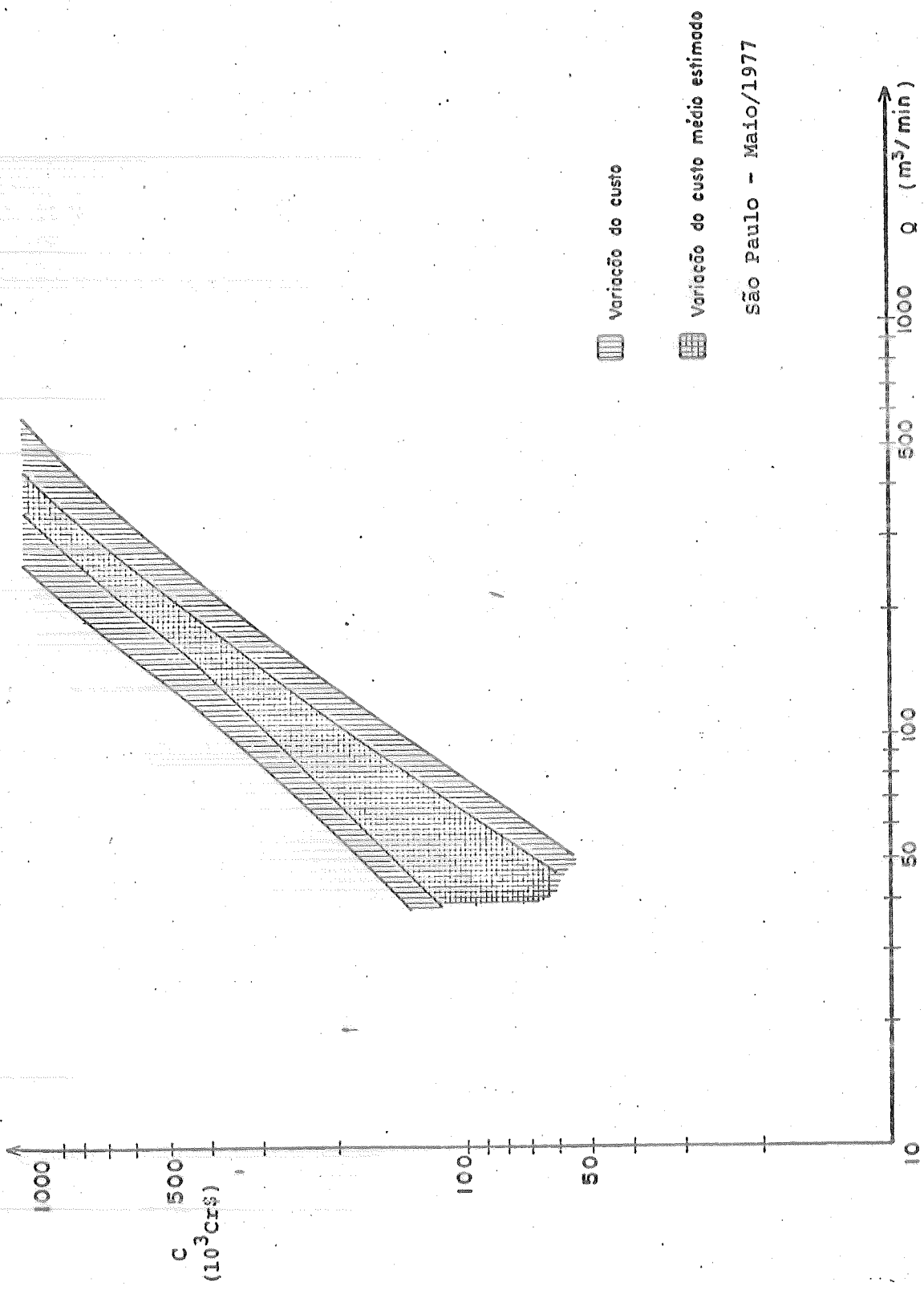


FIGURA C.2. Variação do custo para aquisição de depuradores úmidos

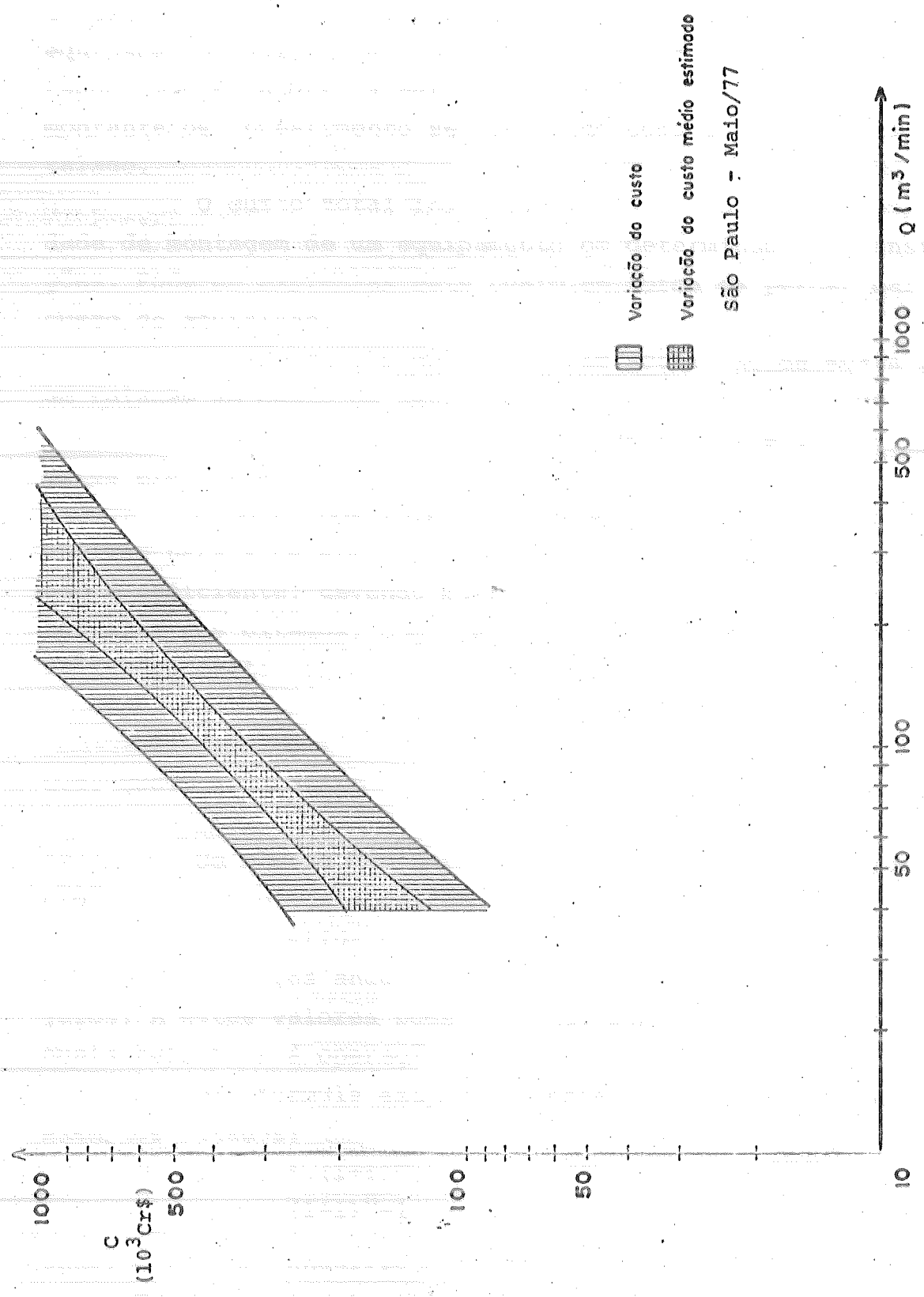


FIGURA C.3. Variação do custo para aquisição de filtros de tecido

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 definido 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 acréscimo de 40% a 120% em relação ao custo de aquisição, os depuradores úmidos de 60% a 150%, os filtros de tecido de 90% a 120% e os precipitadores eletrostáticos 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.

C.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 (Cr\$/ano)

T = investimento total (Cr\$)

i = taxa de juros (fração/ano)

n = tempo de vida útil do aparelho (ano)

O = custo de operação (Cr\$/ano)

M = custo de manutenção (Cr\$/ano)

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

Para os depuradores úmidos, além da energia elétrica, considerou-se água e reagentes necessários à lavagem dos gases, os quais variam em função da vazão, temperatura do fluxo efluente e características dos poluentes a serem coletados.

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.

Os precipitadores eletrostáticos tem o seu custo baseado nas trocas dos 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, troca de partes gastas por abrasão e limpeza das tubulações.

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

Os gráficos a seguir mostram os valores estimados para o custo anualizado dos equipamentos em função de sua vazão de projeto.

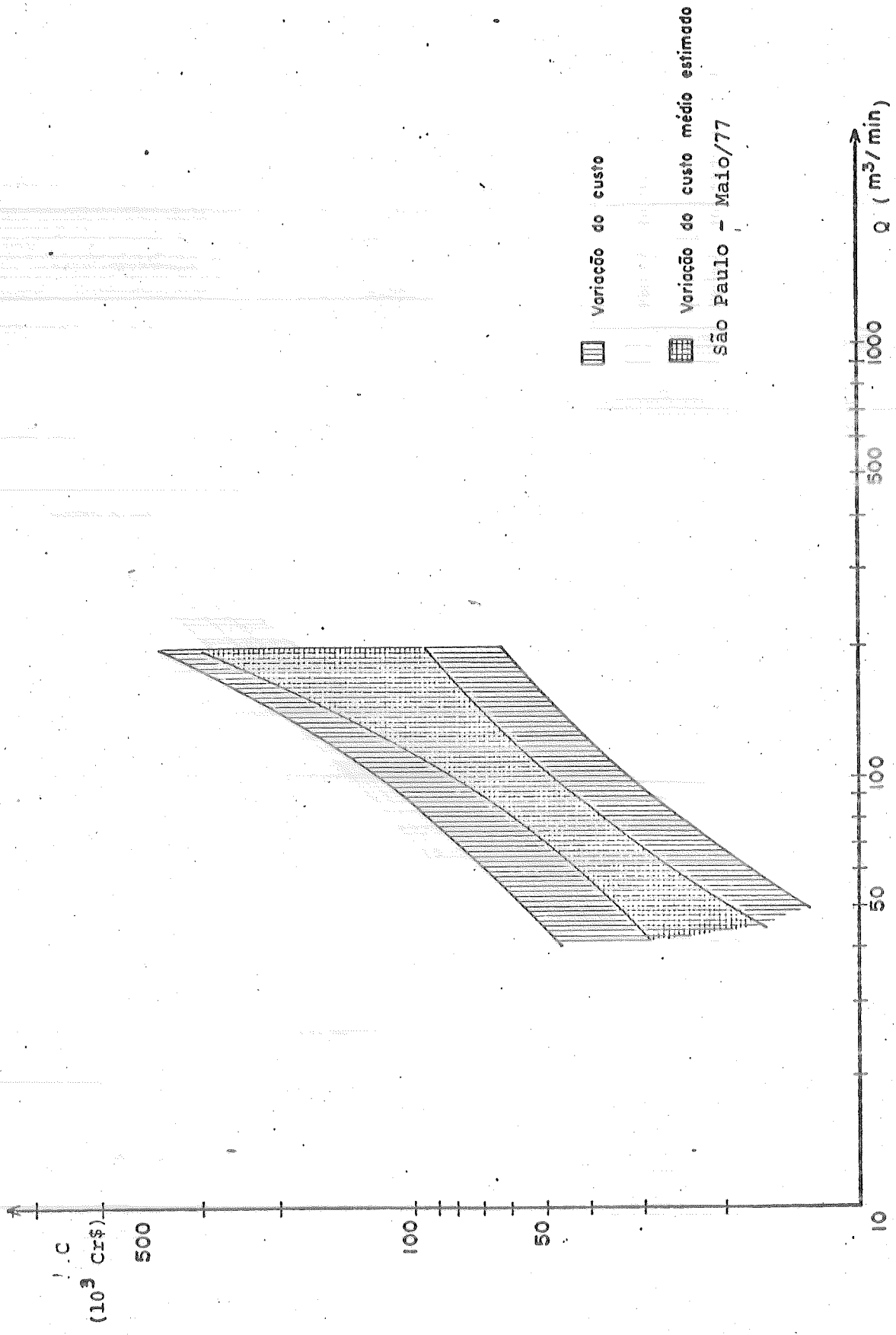


FIGURA C.4. Variação do custo anualizado - ciclones

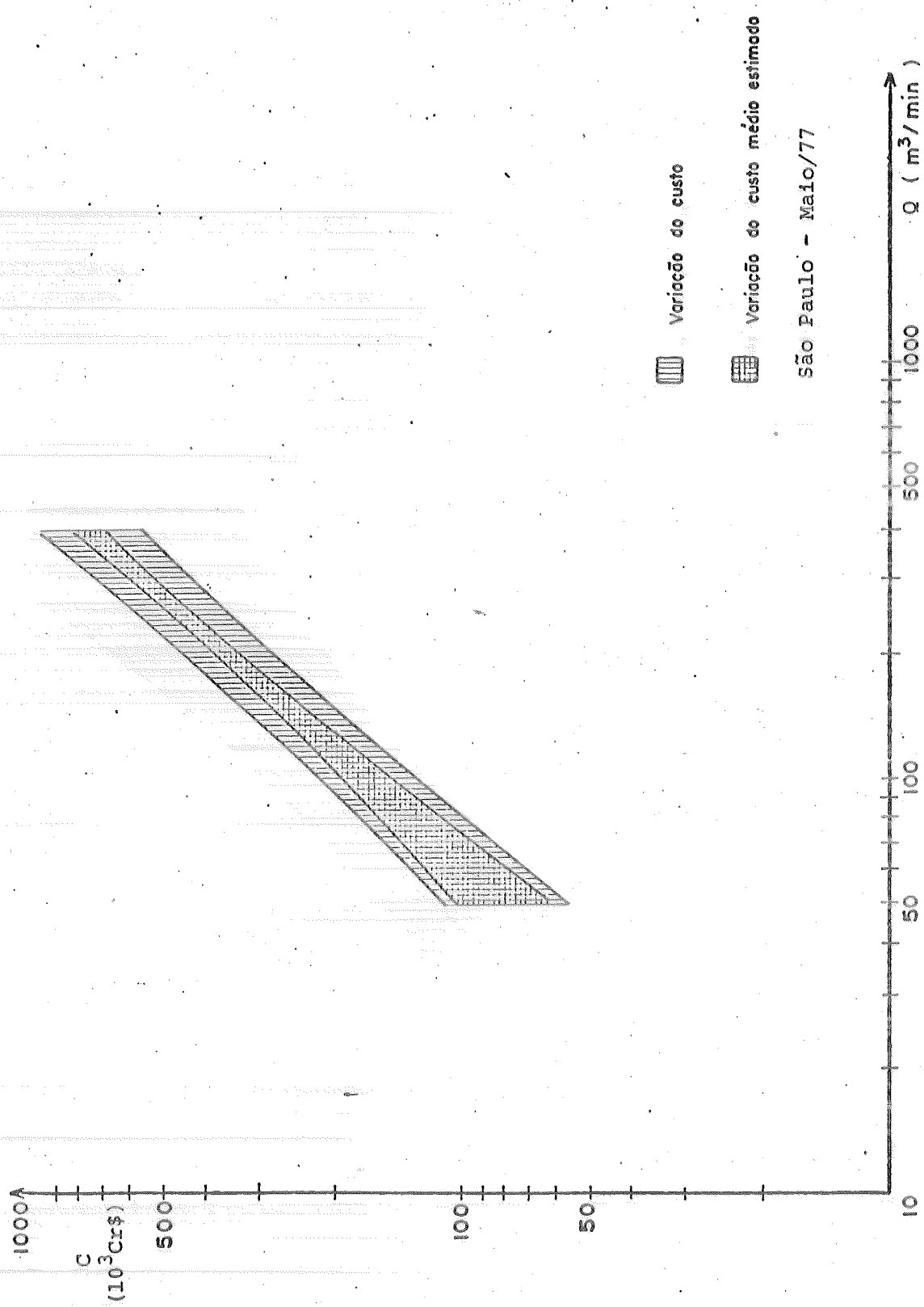


FIGURA C.5. Variação do custo anualizado-depurador úmido.

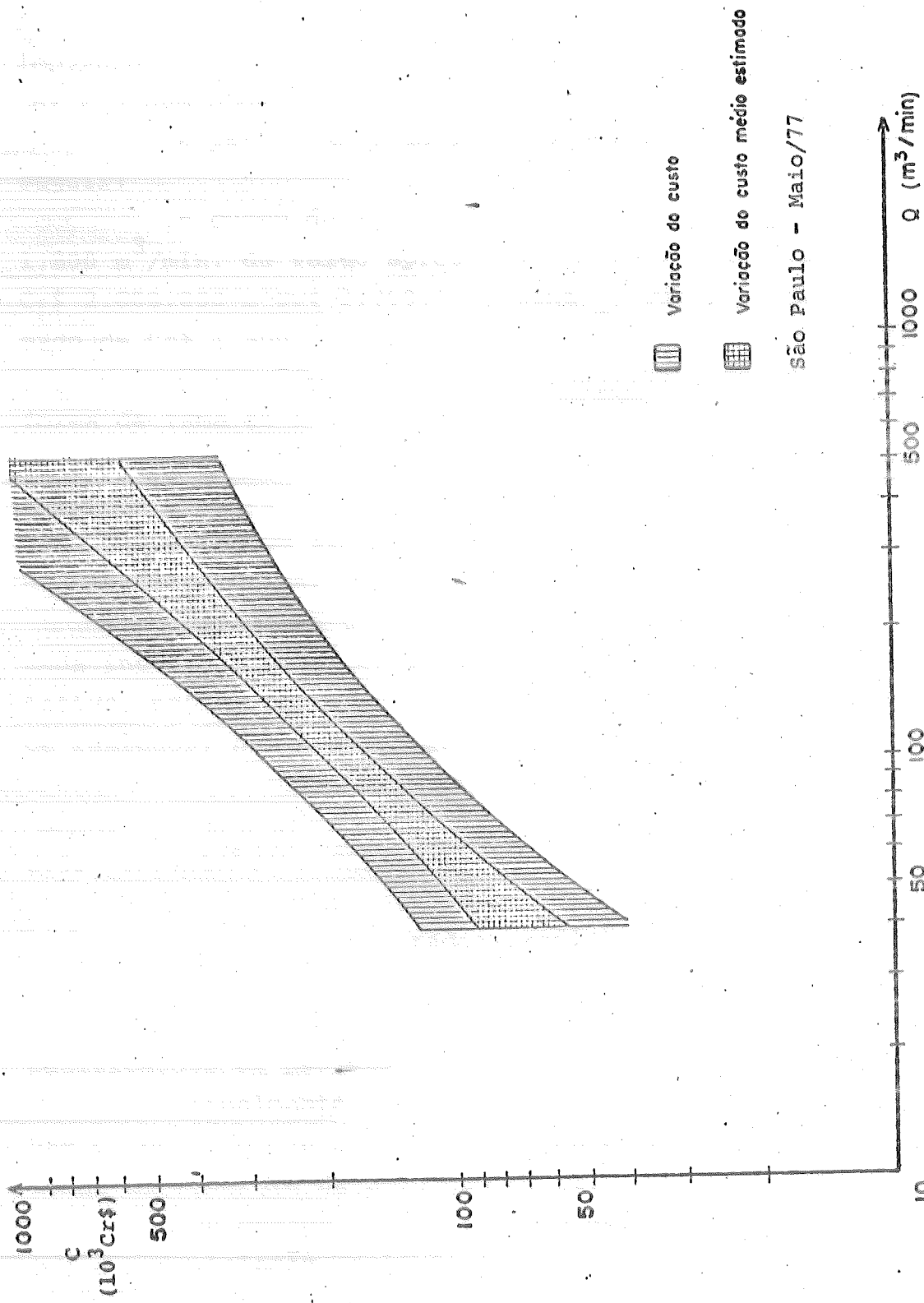


FIGURA C.6. Variação do custo anualizado - filtro de tecido

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 m³/min. de vazão apresentou em 1977 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 dos equipamentos de controle 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.

C.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 em São Paulo, entre projetistas e fabricantes especializados em sistemas de controle de poluição do ar.

Os prazos atuais para os serviços de projeto, fabricação e instalação, solicitados por estas empresas podem ser vistos na tabela C.1.

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%

TABELA C.1. Prazos de projetos, fabricação e instalação de sistemas de controle - SP - 1977

Equipamento	Prazos (em dias corridos)		
	Projeto	Fabricação	Instalação
Filtro de tecido	26 a 53	56 a 115	18 a 51
Precipitador eletrostático	45 a 75	140 a 200	75 a 130
Depurador úmido	22 a 45	47 a 92	18 a 44
Ciclone	21 a 44	45 a 72	17 a 36

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 C.2. Índices de nacionalização (%)

Equipamento	Atividade		
	Projeto	Fabricação	Instalação
Filtro de tecido	54	100	100
Precipitador eletrostático	50	80	95
Depurador úmido	100	100	100
Ciclone	100	100	100

Definindo 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 dos equipamentos em questão 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 de 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", manteve até recentemente um programa operacional específico para o financiamento de projetos, aquisição e montagem destes equipamentos de controle de poluentes.

Atualmente a CETESB estuda junto a diversas entidades financeiras uma nova linha de crédito para aquisição de equipamentos de controle da poluição, a qual deverá propiciar às empresas interessadas condições de financiamento mais vantajosas, com menores encargos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STERN, A.C. - Air Pollution - 3rd Edition Vol. IV - Engineering Control of Air Pollution, Seção 21.
2. SZABO, M.F. et al - Operation and Maintenance of Particulate Control Devices on Selected Steel and Ferroalloy, etc... - Pedco - Environmental, Inc., Cincinnati, Ohio - PB - 282.256 - March/78.
3. SPAWN., P.D. et al - Air Pollutant Control Techniques for Electric Arc Furnaces in the Iron and Steel Foundry Industry - GCA Corp., Bedford, Mass. GCA Technology Div. - PB - 283.650 - June/78.
4. DANIELSON., J.A. - Air Pollution Engineering Manual- 2nd Edition - Environmental Protection Agency - Office of Air and Water Programs, Office of Air Quality Planning and Standards - Research Triangle Park, N.C. 27.711 - May/1973
5. VANDEGRIFT., A.E. et al - Particulate Pollutant System Study - Vol III: Handbook of Emissions Properties - PB 203.522 - Air Pollution Control Office - Environmental Protection Agency - 411 West Chapel Hill Street Durham, North Carolina 27.701 - May/1971.
6. COMPILATION OF AIR POLLUTANT EMISSION FACTORS. U.S. Environmental Protection Agency - 1975.
7. ARAUJO, L.A. de - Siderurgia - Editora F.T.D. S.A. - 1967.
8. O plano Mestre Decenal 77/86
Revista "Planejamento e Desenvolvimento"
Ano 5 nº 49, junho/77.

9. Visão do Futuro da Siderurgia
Revista "IBS" nº 18 - maio-junho/77
10. Anuário Estatístico da Indústria Siderúrgica Brasileira
- 1979 - IBS
11. Conselho de Não - Ferrosos e de Siderurgia - CONSIDER
Relatório de Atividades - 1978.

Data Acquis.: 24/07/02
Indic.:
Livres: 16
Prezzo: 16
Data Tombs: 24/07/02