

ROBERTO AKIO KOMATSU

Estudo dos poluentes emitidos no laboratório de soldagem e estudos de melhorias.

São Paulo
2017

ROBERTO AKIO KOMATSU

Estudo dos poluentes emitidos no laboratório de soldagem e estudos de melhorias.

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo
2017

AGRADECIMENTOS

A todos os professores, instrutores e funcionários da EPUSP/PECE que contribuíram para conclusão deste curso.

Ao Instituto Federal de São Paulo, Campus São Paulo em especial ao Departamento de Mecânica onde dediquei por mais de 23 anos e aposentei voluntariamente.

Aos amigos do curso Weslley Martins Gomes e Nilson Santos Marcellos pela colaboração e companheirismo.

À Nanci, minha esposa, pela paciência e auxílio na elaboração dos desenhos.

Ao meu filho Gabriel pelo auxílio da elaboração deste trabalho.

Aos que, colaboraram direta e indiretamente para consecução deste trabalho.

RESUMO

Nos processos de soldagem com Eletrodo Revestido, TIG, MIG e MAG geram contaminantes como fumos metálicos e gases tóxicos tornando um ambiente insalubre para alunos, professores e pessoas localizados em torno do ambiente contaminante. Este trabalho tem o objetivo de estudar os contaminantes gerados nos processos de soldagem e apresentar métodos de captar os contaminantes dissipados no Laboratório de Soldagem de uma Escola Técnica e Tecnológica localizado em São Paulo. Executado levantamento *in loco*, elaborado desenho do laboratório em planta e elevação, utilizados os conceitos de ventilação industrial e normas da ACGIH, dimensionados os captores tipo frestas, dutos, selecionado o filtro tipo manga com o auxílio da Nederman. Com os dados de vazão, perda de carga total obtido e com o programa de seleção da Projelmec obtido o modelo do ventilador. Elaborado o desenho esquemático da instalação e atingindo o objetivo.

Palavras-chave: Exaustão em Soldagem – Dimensionamento de Sistemas de Exaustão – Captores – Dutos.

ABSTRACT

Welding processes such as shielded metal-arc, TIG, MIG and MAG dissipate contaminants like metallic vapor creating an unhealthy environment for students, professor and nearby persons. This thesis has as objective the study of contaminants created by welding processes and present methods to capture the contaminants dissipated on welding laboratory of a technical and technological institute located in São Paulo. Performed in loco analysis, elaborated laboratory design in plant and elevation, adopting the concepts of industrial ventilation and ACGIH standards, dimensioned the vent-captor, ducts and selected the filter with the assistance of Nederman. With the data of flow, the total loss of load and applying the program from Projelmec it is obtained the model of the fan. Therefore, elaborating the schematic drawing of the installation, accomplish the objective.

Key-Words: Exhaustion on welding – Design of exhaustion systems – Captors – Ducts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ventilação local e ventilação geral.....	15
Figura 2 – Componentes principais de Sistemas de Ventilação Local Exaustora....	17
Figura 3 – Principais tipos de captores.....	19
Figura 4 – Influência da direção do fluxo de ar de exaustão sobre o trabalhador....	20
Figura 5 – Demonstra valores velocidade de controle (ou de captura).....	21
Figura 6 – Fórmula de vazão para diversos captores.....	22
Figura 7 – Pressão estática do captor.....	23
Figura 8 – Coeficiente de entrada e perda de carga em captores.....	24
Figura 9 – Pressão estática do captor.....	25
Figura 10 – Velocidade de Transporte de Partículas em Dutos.....	26
Figura 11 – Perda de carga por atrito em $\text{mmH}_2\text{O}/\text{m}$. Baseado em ar <i>standart</i> com 1,2kg/m ³ , escoamento em duto limpo circular tendo cerca de 1 junta por metro. Válido para t = 10 a 32°C.....	28
Figura 11a – Perda de carga por atrito em $\text{mmH}_2\text{O}/\text{m}$. Baseado em ar <i>standart</i> com 1,2kg/m ³ , escoamento em duto limpo circular tendo cerca de 1 junta por metro. Válido para t = 10 a 32°C.....	29
Figura 11b – Perda de carga por atrito em $\text{mmH}_2\text{O}/\text{m}$. Baseado em ar <i>standart</i> com 1,2kg/m ³ , escoamento em duto limpo circular.....	30
Figura 12 – Perda de carga em cotovelo.....	31
Figura 13 – Perda de carga em junções.....	32
Figura 14 – Perda de carga em chapéus.....	32
Figura 15 –Eficiência de coletores de material particulado em função de distribuição de tamanho das partículas (em porcentagem).....	34
Figura 16 – Tipos de ventiladores e rotores.....	35
Figura 17 – Fórmulas que regem as Leis dos Ventiladores.....	37
Figura 17 – Tipos de chaminés.....	38
Figura 18 – Tamanho das partículas.....	39
Figura 19 – Laboratório de Soldagem.....	40
Figura 20 – Detalhe da Baia.....	42
Figura 21 – Detalhe do Captor.....	42
Figura 22 – Planta e Elevação do Laboratório.....	44
Figura 23 – Dimensionamento de dutos.....	45

Figura 24 – Dados Técnicos fornecido pela Nederman.....	46
Figura 25 – Dados de Seleção da Projelmec.....	47
Figura 26 – Sistema de exaustão com rede de dutos e braços extratores.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
MIG	<i>Metal inert gas</i>
MAG	<i>Metal active gas</i>
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
VLE	Ventilação local exaustora
VGD	Ventilação geral diluidora
TC	Condicionador
PC	Pré-coletor
CF	Coletor Final
W/L	Altura/Largura

LISTA DE SÍMBOLOS

m	Metro
s	Segundo
Q	Vazão
A _c	Área da superfície de controle
V _c	Velocidade do ar na superfície de controle
x	Distância da partícula ao coletor
v	Velocidade da partícula ou do ar
C _e	Coeficiente de perda na entrada do captor
P _{ec}	Pressão estática do captor
P _{ed}	Pressão cinética no duto
ΔP _E	Perda de energia (perda de carga) no captor
A _d	Área da secção transversal do duto
ρ _f	Densidade do fluido
K _c	Fator de perda de carga do captor
P _{cd}	Pressão cinética no duto
P _c	Pressão cinética
A _d	Área do duto
v _t	Velocidade desejável
D	Diâmetro
H	Altura
μm	micrômetro
P _e	Pressão estática
rpm	Rotações por minuto
HP	Potência transferida ao fluido
Ω	Vazão mássica
ρ	Densidade do fluido
η	Eficiênciamecânica do ventilador

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 CONTAMENTES DO AR.....	14
2.2 VENTILAÇÃO.....	14
2.3 VENTILAÇÃO INDUSTRIAL.....	15
2.3.1 Ventilação local exaustora.....	16
2.3.1.1 Captação dos poluentes.....	18
2.3.1.2 Tipos de captores.....	18
2.3.1.3 Alguns aspectos importantes no projeto e localização do captor.....	19
2.3.1.4 Velocidade de captura.....	20
2.3.2 Vazão de exaustão.....	21
2.3.3 Perda de carga e coeficiente de entrada no captor.....	23
2.3.4 Dutos.....	26
2.3.5 Dimensionamento dos dutos.....	26
2.3.5.1 Perda de carga nos sistema de dutos.....	27
2.3.5.2 Perda de carga nos dutos retos.....	27
2.3.5.3 Singularidades.....	31
2.3.6 Balanceamento de tramos.....	33
2.3.7 Equipamentos de controle de poluição de ar.....	33
2.3.8 Conjunto ventilador-motor.....	35
2.3.8.1 Ventiladores centrífugos radiais.....	36
2.3.8.2 Ventiladores centrífugos de pás para trás.....	36
2.3.8.3 Ventiladores centrífugos de pás curvas para frente.....	36
2.3.8.4 Ventiladores "radial tip".....	37
2.3.9 Lei dos ventiladores.....	37
2.3.10 Chaminé.....	38
2.4 CONTAMINATES DO AR NO PROCESSO DE SOLDAGEM.....	39
3 MATERIAIS E METODOS.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42

4.1 DIMENSIONAMENTO DO CAPTOR TIPO FRESTA.....	42
4.1.1 Dimensão do Captor.....	42
4.1.2 Calculo da Vazão de Ar.....	43
4.1.3 Dimensionamento dos Dutos.....	43
4.1.4 Perda de carga.....	45
4.1.4.1 Perda de carga nos dutos retos.....	45
4.1.4.2 Perda de carga nas curvas dos dutos a 45°.....	45
4.1.4.3 Perda de carga nas curvas dos dutos a 90°	45
4.1.4.4 Perda de carga no captor.....	46
4.1.4.5 Perda de carga no equipamento de filtragem.....	46
4.1.4.6 Perda de carga total da Instalação.....	47
4.1.5 Seleção do ventilador industrial.....	47
4.2 DISCUSSÃO.....	48
4.2.1 Outro sistema de exaustão.....	48
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
5 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS	51
ANEXO	53

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é a técnica de unir duas ou mais partes, assegurando entre elas a continuidade e as características mecânicas e químicas do material. A palavra soldagem designa a ação de unir peças; a palavra solda designa o resultado ou produto da operação (ALMENDRA et al,1997).

Os primeiros passos da prevenção no Brasil tiveram origens reais no início da década de 1930, depois da criação do Ministério do Trabalho. Desta década datam as primeiras tentativas para despertar os responsáveis pelo desenvolvimento industrial do Brasil, autoridades, empresários e trabalhadores, para a prevenção dos acidentes e doenças do trabalho (ALMENDRA et al,1997).

Os agentes químicos representam o maior problema para saúde ocupacional, pois além das diversas patologias que cada substância pode desenvolver isoladamente, podem-se observar ações aditivas ao aparelho respiratório que podem levar, inclusive, a câncer pulmonar. Dentre os fumos provocados pelos processos de soldagem, os fumos metálicos são os mais importantes, pois além de constituírem a maior parte, ainda apresentam algumas dificuldades para avaliação e controle (ALMENDRA et al, 1997).

Para solucionar estes inconvenientes provocados pelos processos de soldagem, lançamos mãos da ventilação Industrial. A Ventilação Industrial é extremamente importante no controle de agentes químicos tóxicos, é tida como a mais importante medida de controle por não interferir no processo e ser eficiente na captura de poluentes. É utilizada também no controle de atmosferas potencialmente explosivas reduzindo a concentração dos materiais inflamáveis a níveis seguros. A Ventilação Industrial atua no controle da sobrecarga térmica e na manutenção do conforto térmico dos trabalhadores (USP, 2016).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo estudar os poluentes emitidos no laboratório de soldagem e estudos de melhorias com especificações (desenhos esquemáticos, cálculos e especificação dos equipamentos) dos sistemas de exaustão e tratamento do ar exaurido.

1.2 JUSTIFICATIVA

Sendo usuário do ambiente próximo ao laboratório de Solda de uma Escola Técnica e Tecnológica de São Paulo e sentindo todo o desconforto causado pela proliferação da fumaça, fumos e cheiros proveniente do processo de soldagem. Tomei a iniciativa de elaborar um estudo para demonstrar os poluentes emitidos e estudos de melhorias.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Serão apresentados alguns princípios e conceitos que servirão como base para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 CONTAMINANTES DO AR

Sob o ponto de vista de Ventilação Industrial Clezar, Nogueira, (2009), afirma que qualquer outra substância no ar que não seja (oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, vapor d'água, traços de gases inertes e matéria sólida microscópica) pode ser chamada de contaminantes. Além deste, podemos considerar como contaminantes qualquer componentes normal cuja concentração ultrapasse certo limite. Os contaminantes podem ter origem:

- Em processos de manufatura (solda, corte, fundição, etc.);
- Nos tratamentos superficiais (limpeza com solventes, pintura, jateamento, polimentos, etc.);
- No transporte e transferência de materiais particulados (correias transportadoras, enchimento de recipientes, etc.);

2.2 VENTILAÇÃO

A movimentação do ar por meios naturais ou mecânicos, introduzindo num ambiente (insuflação), retirando desse ambiente (exaustão). O ar entra e sai continuamente de todo recinto ou edificações através das portas, janelas, fendas e outras aberturas. Se essa troca de ar é causada por condições naturais diz-se que a ventilação é natural; se é causada por ventiladores ou outros meios mecânicos, a ventilação é chamada de mecânica ou artificial. Dentro de recintos e edifícios, o ar é mantido em circulação por diferenças de pressão, diferenças de temperaturas, pela movimentação dos ocupantes e equipamentos, e/ou por ventiladores (MESQUITA et al, 1977).

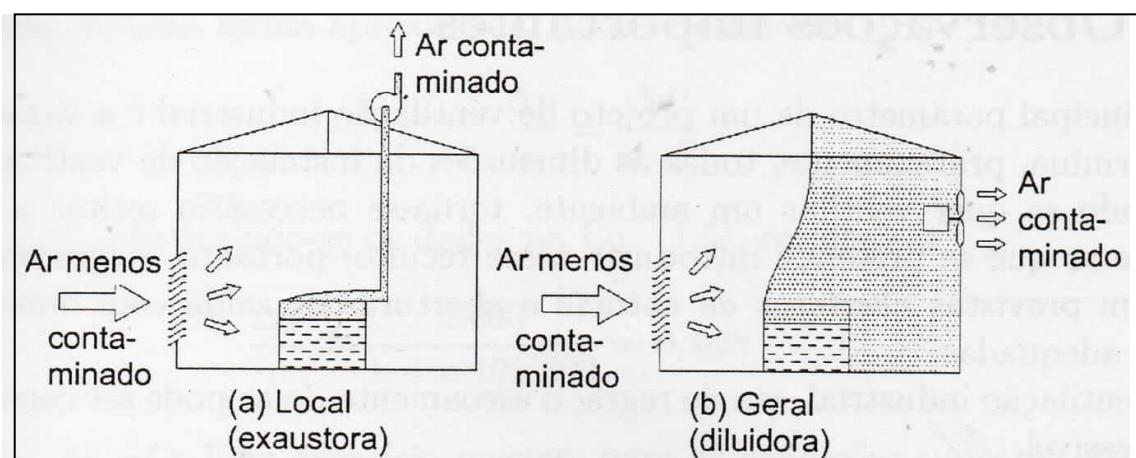
A ventilação é um ramo do conhecimento tecnológico com aplicações em, praticamente, todas as atividades humanas. Aplica-se tanto nos processos produtivos industriais como também nos processos de controle ambiental. No que tange ao controle de ambientes ocupados pelo homem, a ventilação se aplica às questões de conforto e segurança (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).

2.3 VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

A ventilação industrial é em geral entendida como a operação realizada por meios mecânicos que visem a controlar a temperatura, a distribuição do ar, a umidade e a eliminar agentes poluidores do ambiente, tais como gases, vapores, poeiras, fumos, névoas, microrganismo e odores, designados por “contaminantes” ou “poluentes”. Podem-se considerar também como contaminantes substâncias que normalmente existem na composição do ar normal quando elas excedem determinados teores ou índices de concentração, passando a oferecer risco maior ou menor à saúde daqueles que se expõem durante tempo considerável ao ar que as contém (MACINTYRE, 1990).

Clezar, Nogueira, (2009) classifica a ventilação industrial em dois grandes grupos: ventilação local exaustora (VLE) e ventilação geral diluidora (VGD), conforme indicado na FIGURA 1.

Figura 1: Ventilação local e ventilação geral.



FONTE: CLEZAR, NOGUEIRA, 2009.

A ventilação local exaustora (VLE) é realizada por meio de um equipamento captor de ar junto à fonte poluidora. É um tipo de ventilação indicada para situações em que as fontes de poluição sejam perfeitamente identificadas e localizadas no interior do ambiente.

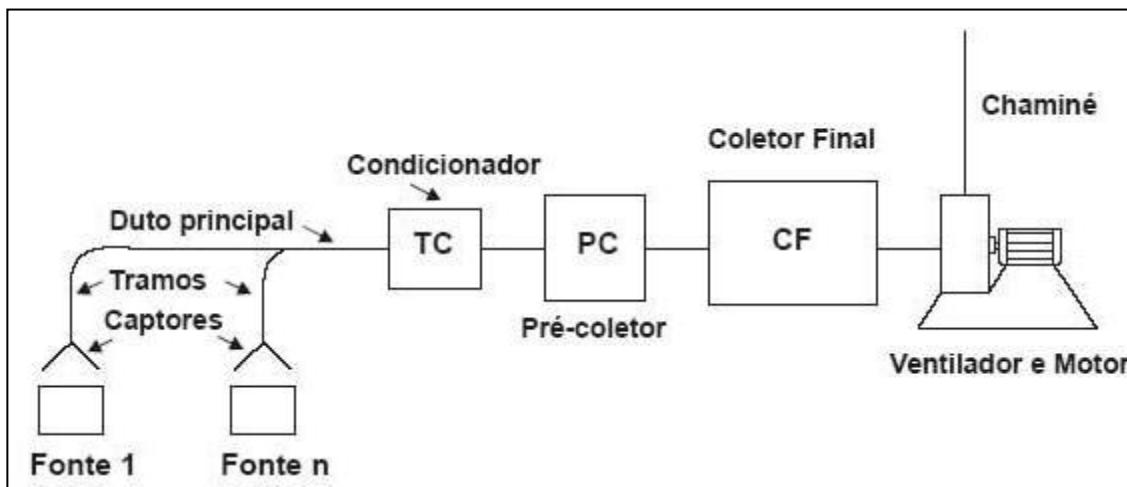
A ventilação geral diluidora (VGD) proporciona a ventilação de um ambiente, de um modo global. É indicada para situações em que a fonte de poluição do ar não está confinada em pontos perfeitamente identificáveis.

2.3.1 Ventilação local exaustora

Existem contaminantes que, por sua alta toxicidade ou pela elevada concentração e quantidade produzida, não podem ser dispersas e diluídos na atmosfera ambiente por um sistema de ventilação geral. Aqueles que trabalharem no local, em um tempo maior ou menor, poderão vir a sofrer as consequências em seu organismo da agressividade daqueles vapores, gases, fumos e poeiras produzidos nas operações ou processos industriais, não obstante a redução da concentração obtida com uma troca contínua de ar. A solução para evitar que os contaminantes se espalhem no ar consiste obviamente em captá-los junto a fonte que os produz, de modo a que não se espalhem pelo recinto e não venha sequer a afetar o operador do equipamento onde são formados (MACINTYRE, 1990).

De acordo com USP, (2016) a ventilação local exaustora capta os poluentes diretamente na fonte evitando desta forma a dispersão dos mesmos no ambiente de trabalho. Pode-se deduzir, portanto, que esse tipo de ventilação é mais adequado à proteção da saúde do trabalhador. Um sistema de ventilação local exaustora é composto das seguintes partes, conforme mostra na Figura 2.

Figura 2: Componentes principais de Sistemas de Ventilação Local Exaustora.



FONTE: USP, 2016, p.181.

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

2.3.1.1 Captação dos poluentes

Fatores envolvidos no projeto de captores conforme USP, (2016). A escolha do tipo e geometria dos captores; posicionamento do captor em relação à fonte; velocidade de captura requerida para captar o poluente no ponto mais desfavorável; determinação da vazão de captação; requisitos de energia do captor.

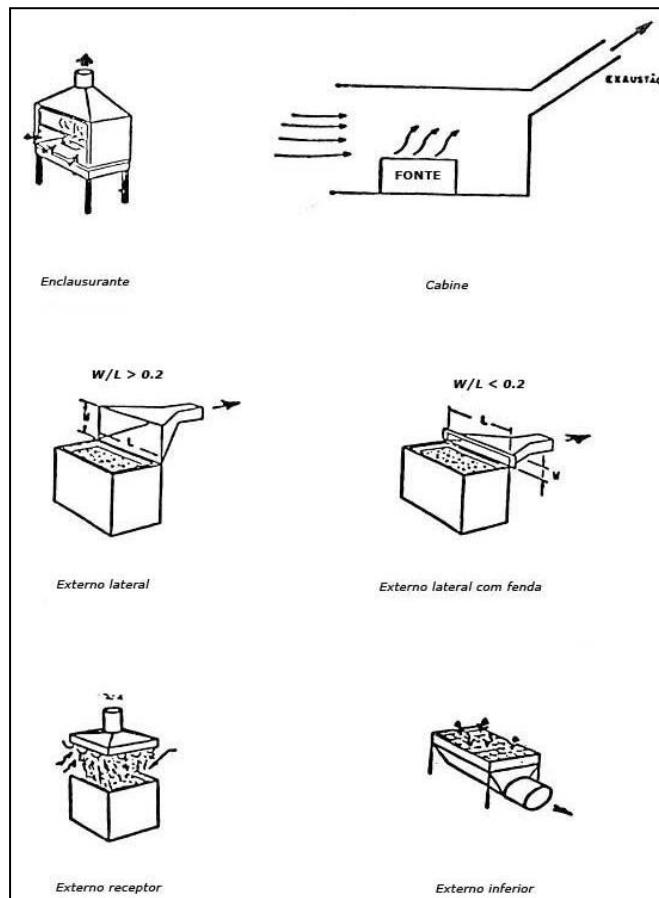
2.3.1.2 Tipos de captores

Classificação dos captores quanto à sua forma e posição relativa à fonte, USP (2016), relacionado a seguir:

- CAPTORES ENCLAUSURANTES – são os captores que envolvem a fonte de poluição, ou seja, a emissão dos poluentes acontece dentro do captor. Neste tipo de captor existem frestas para entrada do ar de exaustão.
- CAPTOR TIPO CABINE – são captores similares aos enclausurantes, mas que se diferenciam pela maior área aberta para entrada do ar de exaustão.
- CAPTORES EXTERNOS – são os captores posicionados externamente à fonte. Esses captores devem induzir, na zona de emissão dos poluentes, correntes de ar em velocidade suficiente para a captação e condução dos poluentes para dentro do captor. Podem ser do tipo lateral, superior ou inferior.
- CAPTORES RECEPTORES – são os captores colocados estrategicamente no sentido de movimentação dos poluentes, de forma a receber naturalmente o fluxo de poluentes induzido pela própria operação poluidora, por exemplo os gases quentes de fornos.

Diversos tipos de captores apresentados na Figura 3.

Figura 3: Principais tipos de captores.

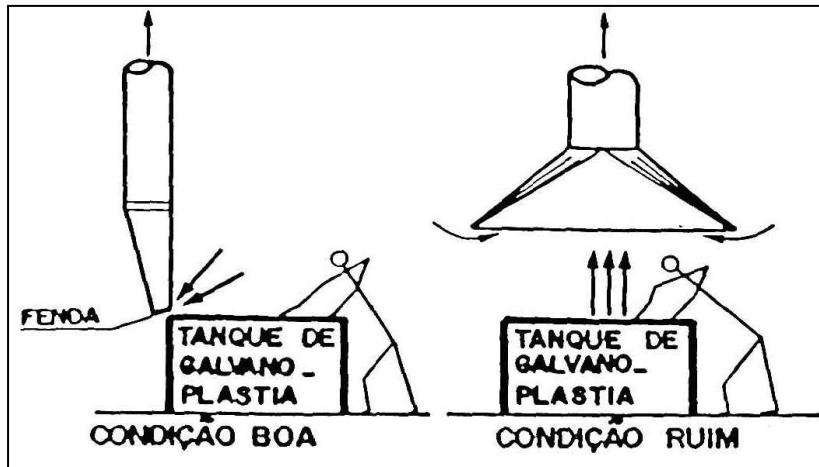


FONTE: USP, 2016, p.183.

2.3.1.3 Alguns aspectos importantes no projeto e localização do captor.

O captor deve ser colocado o mais próximo possível da fonte poluidora. Isso promove melhor captação a uma vazão menor (menor custo operacional). Quanto maior for a distância do captor à fonte, maior será a possibilidade de ação de correntes transversais do ar (vento) existentes no ambiente que agirão no sentido de prejudicar o encaminhamento dos poluentes para o captor, necessitando, portanto, de velocidade de captura mais alta, aumentando em consequência a vazão necessária. Na figura 4 demonstra a diferença da direção do fluxo de ar no caso de captadores laterais e captadores tipo coifa (USP, 2016).

Figura 4: Influência da direção do fluxo de ar de exaustão sobre o trabalhador



FONTE: USP, 2016, p.185.

2.3.1.4 Velocidade de captura

A velocidade de captura é a velocidade que deve ter o ar na região estabelecida de forma a captar os poluentes, conduzindo-os para dentro do captor. Se o poluente emitido no ponto mais desfavorável for captado, então todos os demais serão captados. Em ventilação também se utiliza o termo “velocidade de controle” que no caso de captores externos é a própria velocidade de captura. A velocidade de captura requerida para um determinado caso depende do tipo de captor, da velocidade de emissão, da toxicidade do poluente, do grau de movimentação do ar do ambiente (correntes transversais), do tamanho do captor e da quantidade de poluentes emitida. A Figura 5 demonstra valores usuais de velocidade de captura para várias condições de dispersão e de correntes transversais do ar no ambiente, mostrando também alguns exemplos típicos (USP, 2016).

Figura 5: Demonstra valores para velocidade de controle (ou de captura)

CONDIÇÕES DE DISPERSÃO DO POLUENTE	EXEMPLOS	VELOCIDADE DE CONTROLE (m/s)
Emitidos praticamente sem velocidade em ar parado.	Evaporação de tanques, desengraxate, etc.	0,25 - 0,50
Emitidos a baixa velocidade em ar com velocidade moderada.	Cabines de pintura, enchimento de tanques de armazenamento (intermitente), pontos de transferência de transportadores de baixa velocidade, solda, deposição eletrolítica, decapagem.	0,50 - 1,00
Grande geração em zona de ar com velocidade alta.	Enchimento de barris, carga de Transportador.	1,00 - 2,50
Emitido com alta velocidade inicial em zona de ar com velocidade alta.	Esmeril, jateamento com abrasivos.	2,50 - 10,0

Fonte : USP, 2016, p.181.

2.3.2 Vazão de exaustão

A vazão de exaustão representa o volume de ar que deve ser movimentado para remover uma determinada massa ou volume de poluentes emitidos por uma fonte poluidora. A vazão total a ser movimentada será a somatória das vazões exigidas em cada captor. Os seguintes requisitos devem ser atendidos pela vazão de exaustão:

- Deve captar a totalidade dos poluentes emitidos;
- Não deve interferir nos processos e operações, como por exemplo o arraste de matérias-primas e produtos, diminuição da temperatura dos equipamentos e de processos, etc.;
- Deve ser uma vazão econômica, ou seja, deve ser a mínima necessária para atender aos requisitos acima.

A fórmula geral para cálculo da vazão é dada por $Q = A_c \times V_c$, onde Q é a vazão necessária num determinado captor; A_c é a área da superfície de controle e V_c é a velocidade do ar na superfície de controle necessária para captar os poluentes e conduzi-los ao sistema de exaustão (USP, 2016).

Para os captores externos, tem que ter certo volume de ar passando pelo ponto mais desfavorável de emissão, de forma que esse volume de ar capta e arraste os poluentes para o captor, conforme ilustrado na Figura 6 (USP, 2016).

Figura 6: Fórmula de vazão para diversos captores.

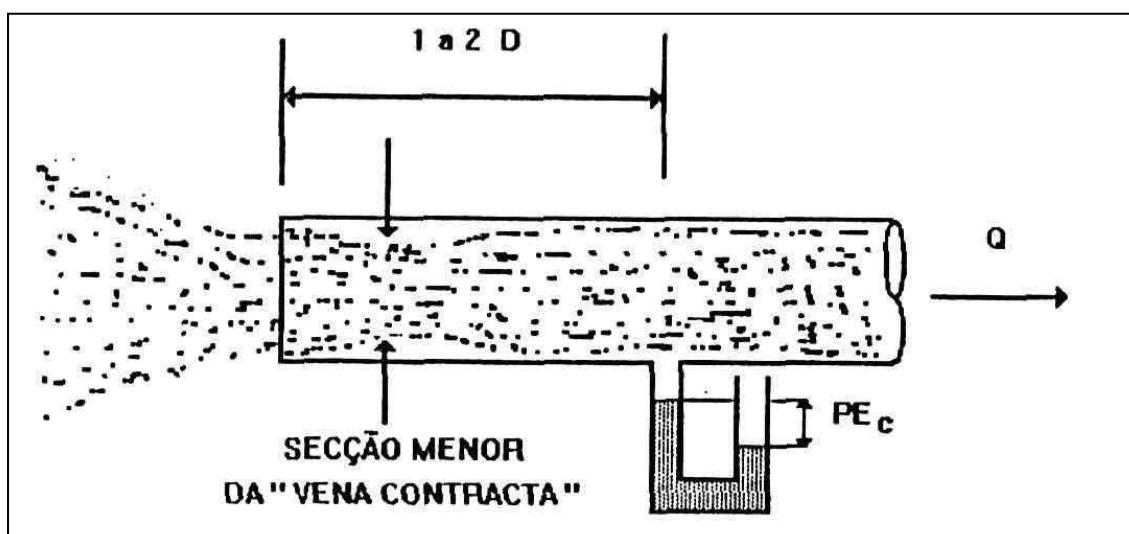
Tipo de Captor	Descrição	Razão (W/L)	Vazão
	Com fenda	0,2 ou menor	$Q = 3,7 LVX$
	Com fenda flangeada	Idem	$Q = 2,8 LVX$
	Abertura sem flange	0,2 ou maior (também serve para captor circular)	$Q = V (10x^2 + A)$
	Abertura com flange	Idem	$Q = 0,75V(10x^2 + A)$
	Cabine	-----	$Q = V A = VWH$
	Coifa	-----	$Q = 1,4 PVH$ (P = perímetro do tanque)
	Plano com múltiplas fendas (2 ou mais fendas)	0,2 ou maior	$Q = V (10x^2 + A)$
	Flangeado com múltiplas fendas (2 ou mais fendas)	0,2 ou maior	$Q = 0,75V(10x^2 + A)$

Fonte: ACGHI (*Industrial Ventilation*), USP, 2016, p.190.

2.3.3 Perda de carga e coeficiente de entrada no captor

A pressão estática do captor, é a somatória da pressão cinética necessária à movimentação do fluido até atingir a velocidade que o fluido deve ter no duto logo após o captor (energia de aceleração), mais as perdas de cargas desde a face do captor até o início do duto, incluído a região da “*vena contracta*”, ver figura 7, onde D é o diâmetro (USP, 2016).

Figura 7: Pressão estática do captor.



Fonte: USP, 2016, p.195.

USP, (2016) afirma que a perda de carga acarreta uma redução na vazão de exaustão em um captor, quando comparada com a vazão ideal que seria exaurida se não houvesse tal perda. A relação entre a vazão real e a ideal define o coeficiente de perda na entrada (C_e) do captor, que depende somente da geometria do captor.

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

$$Q=4,43.A_d.C_e.\sqrt{P_{ec}/\rho_f}$$

Em que: $P_{ec} = (P_{ed} + \Delta P_E)$ P_{ec} é a pressão estática do captor, P_{ed} a pressão cinética no duto, ΔP_E a perda de energia (perda de carga) no captor, A_d é a área da secção transversal do duto e ρ_f é a densidade do fluido. Para o ar padrão ($\rho_f = 1,2 \text{ kg/m}^3$) a fórmula acima se torna:

$$Q=4,43.A_d.C_e.\sqrt{P_{ec}}$$

Se tivéssemos a P_c média na secção do duto logo após o captor, ao invés da pressão estática do captor a fórmula seria, para ar o padrão:

$$Q = 4,43 \cdot A_d \cdot \sqrt{P_c(\text{média})}$$

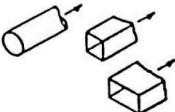
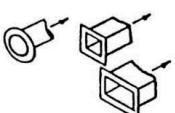
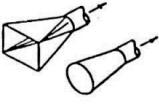
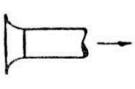
A pressão estática do Captor (P_{ec}) representa a energia a ser fornecida ao fluido para se movimentar até atingir a velocidade do duto (em geral corresponde a 1 P_c , em termos de pressão, pois usualmente o fluido está parado ou quase parado na zona de entrada do captor) e para vencer a perda de carga (resistência) do captor desde sua entrada até o início do duto (ΔP_E) (USP,2016).

$$\Delta P_E = K_c \cdot P_c \text{ sendo } K_c = (1 - C_e^2) / C_e^2$$

Estas expressões permitem calcular a energia, em termos de pressão, a ser fornecida para vencer a resistência da entrada e para acelerar o fluido, conhecendo-se o coeficiente de entrada (C_e) do captor ou o fator de perda de carga do captor (K_c) e pressão cinética no duto, P_{cd} , corresponde à velocidade v , dada pela formula.

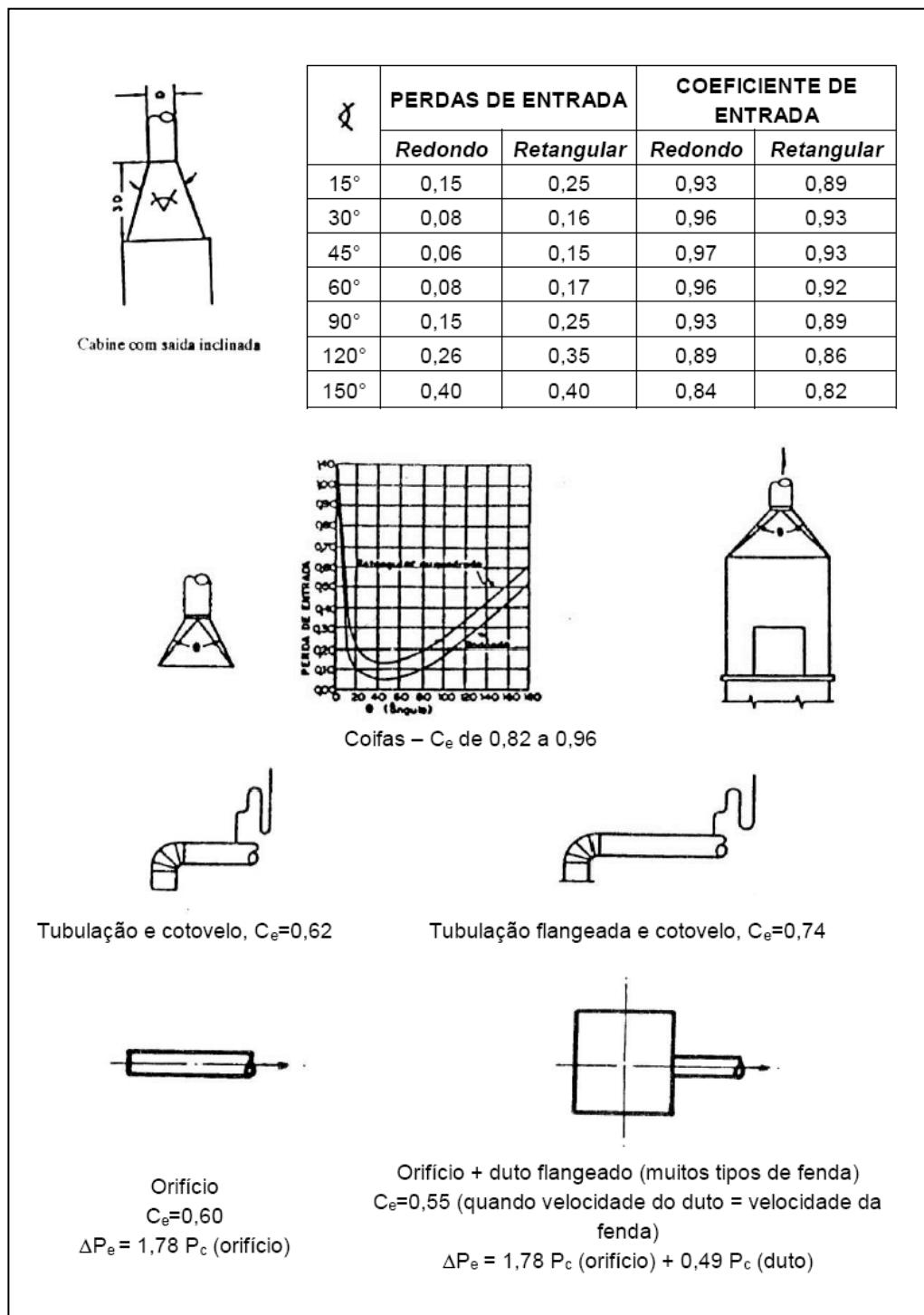
Na Figura 8 e Figura 9 apresentam, para vários tipos de captores, os valores do coeficiente de entrada e bem como as perdas de carga do captor, expressas em fração da pressão cinética no duto (USP, 2016).

Figura 8: Coeficiente de entrada e perda de carga em captores.

Tipo de captor	Descrição	Coeficiente de entrada - C_e	Perda de carga ΔP_E
	Aberturas planas	0,72	0,93 PC
	Aberturas flangeadas	0,82	0,49 PC
	Captors cônicos ou afunilados	Variável com o ângulo do cone ou afunilamento	
	Entrada em forma de cone	0,98	0,04 PC

Fonte: Mesquita et al, 1988, USP, 2016, p.197.

Figura 9: Pressão estática do captor.



Fonte: USP, 2016, p.198.

2.3.4 Dutos

O transporte de poluentes através dos dutos do sistema depende da velocidade do ar na tubulação. Para poluentes gasosos a velocidade tem pouca importância uma vez que não ocorre sedimentação na tubulação mesmo para velocidades baixas. Neste caso são utilizadas velocidades na faixa econômica, usualmente entre 5 e 10m/s. No caso de poluentes na forma de partículas, é importante manter a velocidade mínima de transporte para que não ocorra sedimentação nos dutos. Essa velocidade varia de acordo com a densidade e granulometria das partículas. Os valores velocidades usuais estão indicados na Figura 10 (USP, 2016).

Figura 10: Velocidade de Transporte de Partículas em Dutos.

Tipo de partícula	Velocidade mínima (m/s)
1. Partículas de densidade baixa. Ex.: fumaça, fumos de óxidos de zinco, fumos de alumínio, pó de algodão.	10
2. Partículas de densidade média. Ex.: cereais, pó de madeira, pó de plástico pó de borracha.	15
3. Partículas de densidade média/alta. Ex.: fumos metálicos, poeira de jateamento de areia e de esmerilhamento.	20
4. Partículas de densidade alta. Ex.: fumos de chumbo, poeiras de fundição de ferro.	25

Fonte: USP, 2016, p.203.

2.3.5 Dimensionamento dos dutos

No sistema de ventilação local exaustora, dimensionar o sistema de dutos significa determinar a área da secção transversal do duto (A_d), pela qual passa a vazão (Q) requerida, a uma dada velocidade (v_t) desejável. Assim sendo, a equação básica relacionando estes três parâmetros é expressa por (USP, 2016).

$$A = Q/v_t$$

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

$$D = \sqrt{4 \cdot A_d / 3.14}$$

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

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

A vazão (Q) dos gases é aquela vazão necessária para garantir a captação dos poluentes no(s) captor(es) e a velocidade (v_t) é a velocidade mínima de transporte das partículas apresentadas na Figura 10 ou na faixa econômica de 5 a 10m/s para poluentes gasosos (USP, 2016).

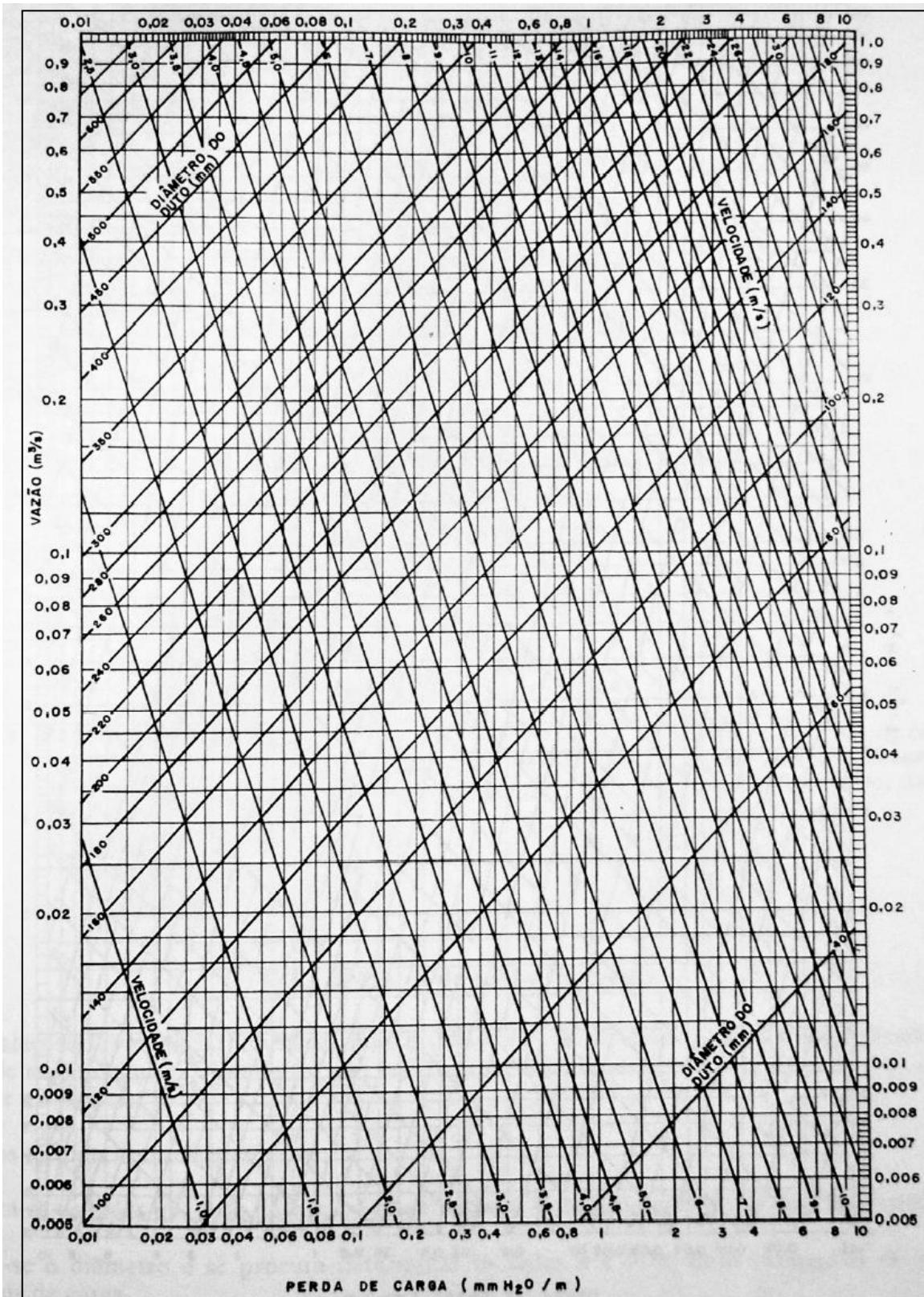
2.3.5.1 Perda de carga no sistema de dutos

A queda de pressão associada com a perda de energia devido ao atrito do fluido e a parede interna do duto.

2.3.5.2 Perda de carga nos dutos retos

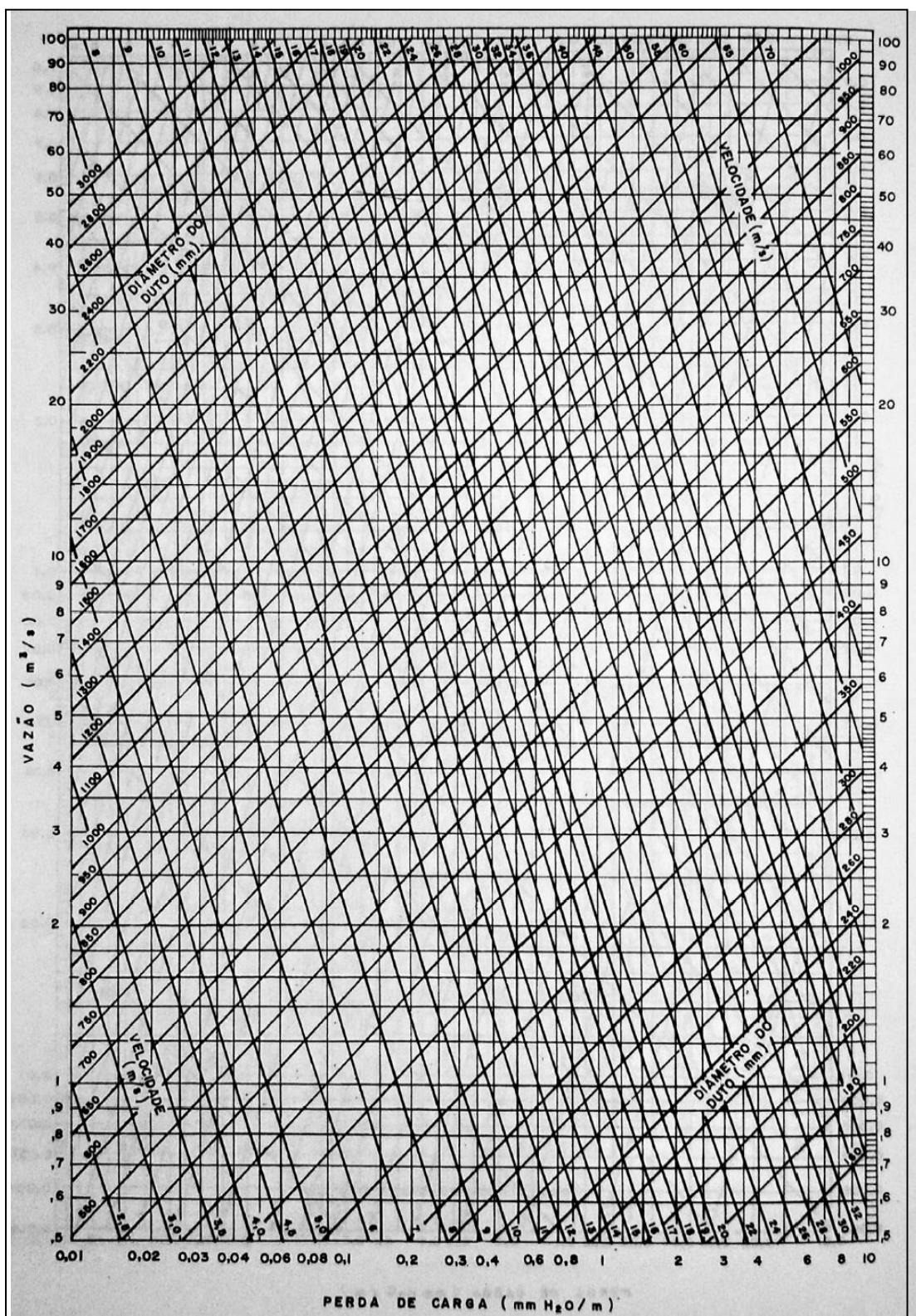
A perda de carga é determinada com auxílio de ábacos construídos para um comprimento padronizado (1 metro ou 100pés), tipo de material de duto e condição do ar pré-fixados (chapa de aço galvanizado e ar padrão a 21°C e 1 atm de pressão, ou seja, ar com densidade de 1,2kg/m³), conforme mostrado na Figura 11, 11a e 11b. Quando a densidade do fluido e/ou a rugosidade diferirem significativamente das condições estabelecidas é importante fazer as devidas correções (USP, 2016).

Figura 11: Perda de carga por atrito em mmH₂O/m. Baseado em ar *standart* com 1,201kgf/m³, escoando em duto limpo circular tendo cerca de 1 junta por metro. Válido para $t = 10$ a 32°C.



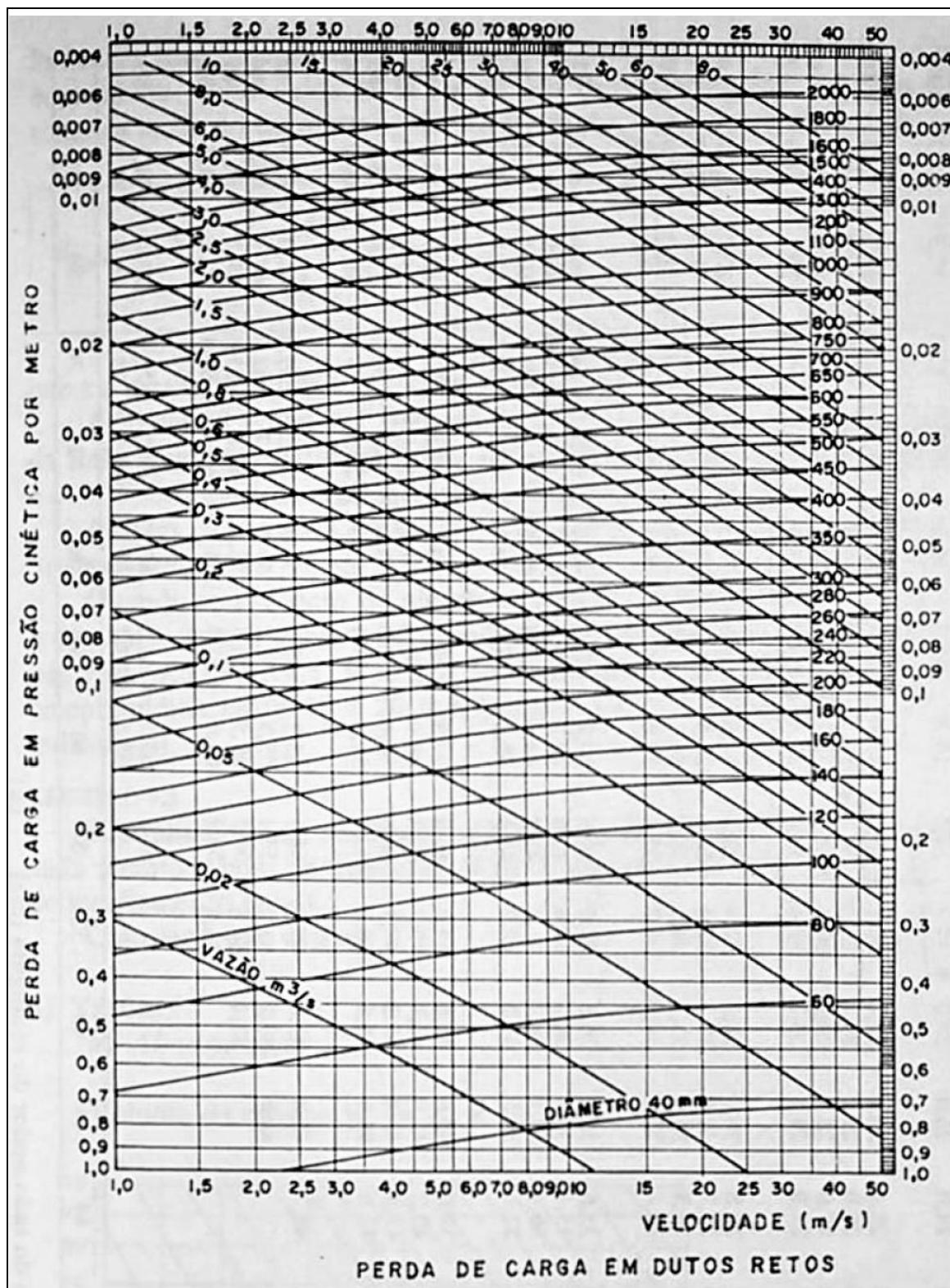
Fonte: Macintyre, 1990, p. 127.

Figura 11a: Perda de carga por atrito em mmH₂O/m. Baseado em ar standart com 1,201kgf/m³, escoando em duto limpo circular tendo cerca de 1 junta por metro. Válido para t = 10 a 32°C.



Fonte: Macintyre, 1990, p. 128.

Figura 11b: Perda de carga por atrito em mmH₂O/m. Baseado em ar standart com 1,201kgf/m³, escoando em duto limpo circular.



Fonte: Macintyre, 1990, p.129.

2.3.5.3 Singularidades

Singularidade é qualquer elemento do sistema que causa distúrbio no fluxo de ar, como por exemplo, os cotovelos, junções, contrações, expansões etc. As singularidades representam pontos de perda de carga localizada. Todos esses elementos devem ser projetados, de preferência, como regra geral, na geometria que ocasiona a menor perda de carga possível (USP, 2016).

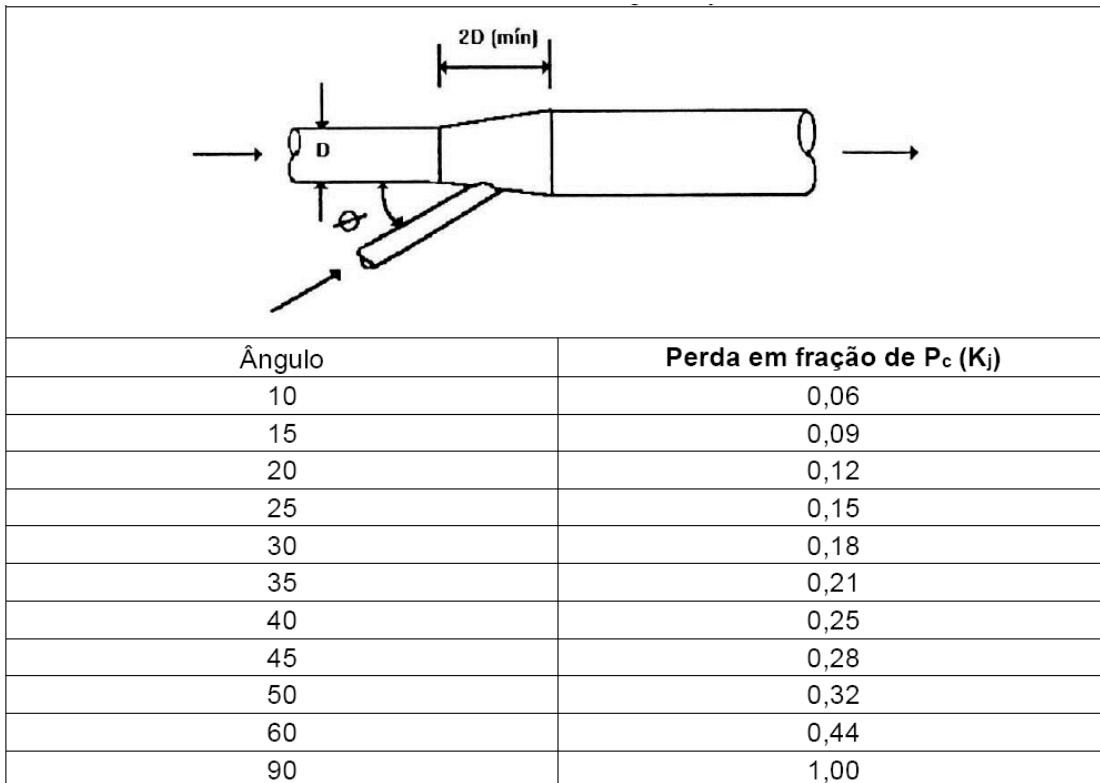
Nos sistemas projetados com singularidades fora das recomendações podem funcionar bem às custas de maior potência e, em consequência, com custo operacional mais elevado. Muitas vezes a disponibilidade do mercado conduz utilização de singularidades de maior perda de carga. As perdas das cargas em singularidades são baseadas em dados práticos, onde geralmente elas são expressas em fração da pressão cinética no duto (Figuras 12, 13 e 14) ou em comprimento equivalente em duto reto (USP, 2016).

Figura 12: Perda de carga em cotovelos.

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

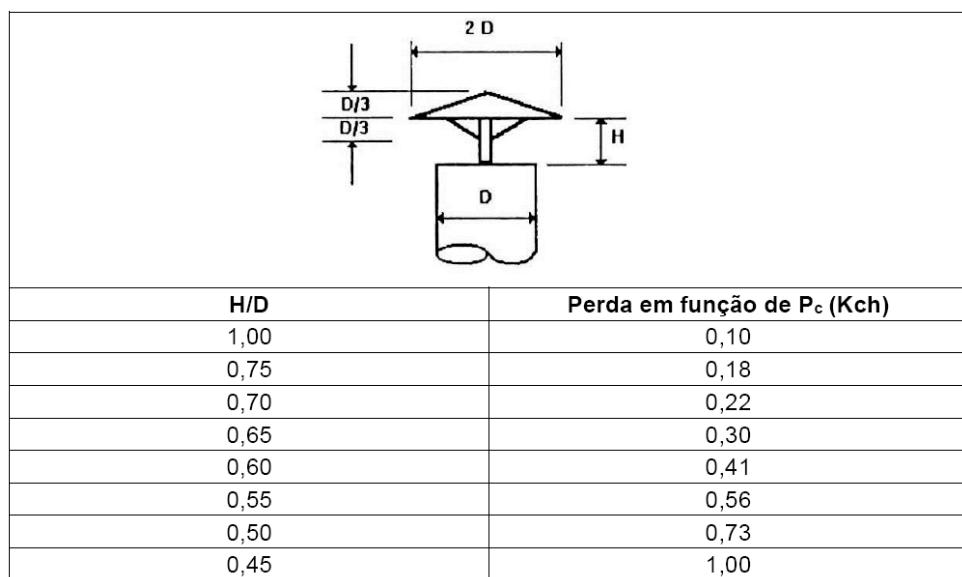
Fonte: USP, 2016, p. 208.

Figura 13: Perda de carga em junções.



Fonte: USP, 2016, p. 208.

Figura 14: Perda de carga em chapéus.



Fonte: USP, 2016, p. 209.

2.3.6 Balanceamento de tramos

O balanceamento de tramos significa o procedimento para atingir o equilíbrio de pressões estáticas em pontos de junção de tubulações, de forma a conseguir em cada um do tramos as vazões requeridas (USP, 2016).

A elaboração do projeto de um sistema balanceado com o uso de registros é mais simples e rápido, devendo levar em consideração a velocidade mínima de transporte. Este tipo de sistema apresenta maior flexibilidade, permitindo alterações desejadas de vazão posteriormente, dentro de certos limites. Apresenta, contudo, diversas desvantagens, como por exemplo, a maior presença de pontos de deposição de partículas; pós abrasivos podem desgastar as válvulas de balanceamento ocasionando desbalanceamento do sistema; o balanceamento pode ser alterado pela ação dos operadores, ocasionando alterações de vazões que certamente prejudicarão a captação, podendo também, ocasionar deposição de partículas nas tubulações (USP, 2016).

2.3.7 Equipamentos de controle de poluição de ar

Macintyre, (1990) afirma que os vapores e poeiras contidos no ar captados com os dispositivos devem ser removidos do mesmo, a fim de que ele possa ser liberado na atmosfera ambiente ou exterior devidamente purificado, sem que ofereça, portanto, riscos à saúde das pessoas e danos ecológicos. Os equipamentos empregados com esta finalidade podem dividir-se nos seguintes grupos:

- Filtro de ar, cuja finalidade é a remoção de poeiras no grau de concentração em que possam encontrar-se no ar ambiente exterior ou interior e na recirculação de ar do recinto. São empregados, normalmente na tomada de ar exterior, nas instalações de ventilação e ar condicionado. São muito usados, também na retenção de poeiras produzidas em ambientes fechados e instalados, às vezes, próximo ao local de captura ou em locais onde o ar contendo poeiras é conduzido ao longo dos dutos.
- Coletores de poeiras, destinados a remover cargas consideráveis de poeiras oriundas de processos e captados nos locais onde são produzidas. A

amplitude do grau de concentração de poeiras é muito grande, bastando mencionar que pode variar de 100 até 20.000 vezes o teor de concentração para o qual os filtros de ar são destinados a operar. Existem coletores inerciais, centrífugos, lavadores, depuradores e precipitadores eletrostáticos.

- Lavadores de gases, torres de absorção, condensadores, depuradores, precipitadores hidrodinâmicos, incineradores. Visam à remoção de gases e vapores do ar antes da liberação do mesmo. Quando se tratar de dissolução de gases ou vapores na água, pode vir a ser necessário um tratamento químico complementar acompanhado de filtragem, decantação ou destilação, para que a água possa ser purificadas, reutilizadas e reciclados certos produtos industriais.

Comparação entre as faixas de eficiências de coleta do conjunto de coletores de material particulado são apresentadas na Figura 15 (USP, 2016).

Figura 15: Eficiência de coletores de material particulado em função de distribuição de tamanho das partículas (em porcentagem).

Tipo de Equipamento	Faixa de Tamanho (em diâmetro aerodinâmico equivalente) (μm)				
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 44	> 44
Câmara de sedimentação (com chicaneas).	7,5	22,0	43,0	80,0	90,0
Ciclone de baixa pressão.	12,0	33,0	57,0	82,0	91,0
Ciclone de alta pressão.	40,0	79,0	92,0	95,0	97,0
Multiciclone.	25,0	54,0	74,0	95,0	98,0
Lavadores de média energia.	80,0	90,0	98,0	100,0	100,0
Lavadores Venturi (lavador de alta energia).	95,0	99,5	100,0	100,0	100,0
Precipitador eletrostático.	97,0	99,0	99,5	100,0	100,0
Filtro de tecido.	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0

NOTA - Valores para fins comparativos. Não deverão ser utilizados para fins de projeto.

Nota			
Suponha que seja dada a distribuição em massa das partículas e as eficiências de coleta conforme tabela abaixo para o equipamento de controle de poluição do ar a ser instalado numa indústria. Calcule a eficiência de coleta total deste equipamento (complete a última coluna da tabela). Dados de eficiência e granulometria:			
dp (μm)	Massa de partículas na faixa i de diâmetros (mi) (%)	Eficiência de coleta média na faixa i de diâmetros (η_i) (%)	Eficiência total (%)
0 a 5	30	40	12
5 a 10	30	80	24
10 a 20	20	90	18
20 a 44	15	95	14,25
>44	5	100	5
Total	100	-	73,25

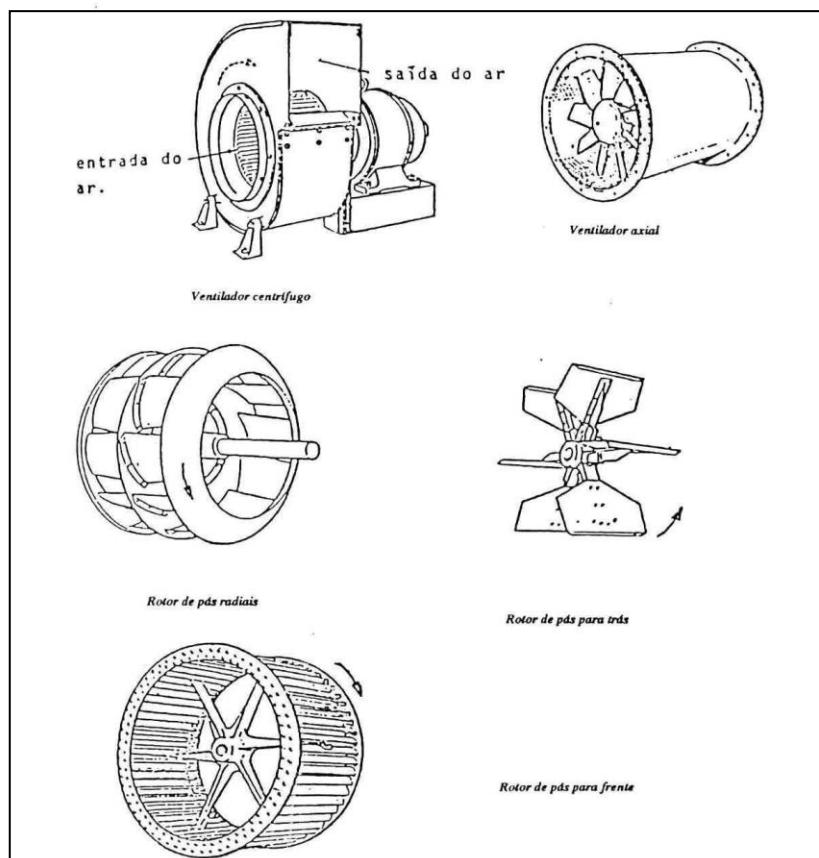
Fonte: USP, 2016, p. 219.

2.3.8 Conjunto ventilador-motor

O conjunto ventilador-motor fornece a energia necessária para movimentar o fluido e vencer todas as perdas de carga (resistência) do sistema (USP, 2016).

Os ventiladores são classificados de acordo com a direção de movimentação de fluxo através do rotor. São classificados em ventiladores centrífugos e os axiais, Figura 16, os centrífugos são destinados a movimentação de ar numa ampla faixa de vazão e pressão enquanto as axiais se restringem a aplicações de baixa e média pressão (até 150mmCA aproximadamente). Em ventilação os ventiladores mais utilizados são os centrífugos (USP, 2016).

Figura 16: Tipos de ventiladores e rotores.



FONTE: USP, 2016, p. 230.

2.3.8.1 Ventiladores centrífugos radiais

São ventiladores robustos, para trabalho pesado e destinados a movimentar fluido com grande carga de poeira, poeiras pegajosas e corrosivas. Apresentam eficiência baixa, da ordem de 60% e nível de ruído alto. É o tipo mais simples em termos construtivos, possuem alta resistência mecânica e são mais fáceis de serem reparados em caso de avarias (USP, 2016).

2.3.8.2 Ventiladores centrífugos de pás para trás

São ventiladores de alta eficiência chegando a atingir eficiências maiores que 80% e seu funcionamento e nível de ruído mais baixo. Uma importante característica desse ventilador é a autolimitação de potência, característica essa, importante quando a perda de carga do sistema é variável, evitando assim a sobrecarga do motor. Possuem dois tipos de pás: as aerodinâmicas e as planas. As aerodinâmicas são de grandes vazões e pressões médias sendo que a economia de potência chega a compensar o maior custo de aquisição. Os de pás planas, pode ser utilizados para transportar ar sujo já que apresentam a característica de ser autolimpantes, no entanto apresentam eficiência menor que os de pás aerodinâmicas, chegam a atingir eficiências da ordem de 80% (USP, 2016).

2.3.8.3 Ventiladores centrífugos de pás curvas para frente

São ventiladores que necessitam menor espaço para sua instalação, apresentam baixa velocidade periférica e são silenciosos. São usados para pressões baixas e moderadas devido à forma dos rotores de pás para frente, não são recomendados para movimentar fluidos com poeiras e fumos que possam aderir às mesmas e causar desbalanceamento do rotor e consequentemente vibração. A sua curva características apresenta zona de instabilidade na qual o ventilador não deve trabalhar. A eficiência desses ventiladores é menor que os de pás para trás. São

recomendados para sistema de ventilação geral e de ar condicionado onde a carga de poeira e outras partículas são muito baixas (USP, 2016).

2.3.8.4 Ventiladores “radial tip”

São ventiladores de pás planas inclinadas para trás, porém com pontas que se curvam até chegarem a ser radiais. Isso ocasiona uma queda na eficiência, porém proporciona maiores vazões. São utilizados em fornos de cimento, fábricas de celulose e papel, etc. (USP, 2016).

2.3.9 Lei dos ventiladores

USP, (2016) destacam a relações do estudo dos ventiladores, as quais são chamadas de Leis dos Ventiladores e são constituídas das proporcionalidades existentes entre os diversos parâmetros envolvidos, conforme abaixo:

- A vazão varia de acordo com a rotação, com a densidade do fluido e com o tamanho do ventilador;
- A pressão varia com o quadrado da rotação, com a densidade do fluido e com o tamanho do ventilador;
- A potência varia com o cubo da rotação, com a densidade do fluido e com o tamanho do ventilador. A Figura 17 apresenta as fórmulas que regem as leis dos ventiladores.

Figura 17: Fórmulas que regem as Leis dos Ventiladores.

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

Fonte USP, 2016, p. 236.

Onde:

d = diâmetro do ventilador

Q = vazão em volume;

Pe = pressão estática;

rpm = rotações por minuto;

HP = potência transferida ao fluido

ω = vazão mássica;

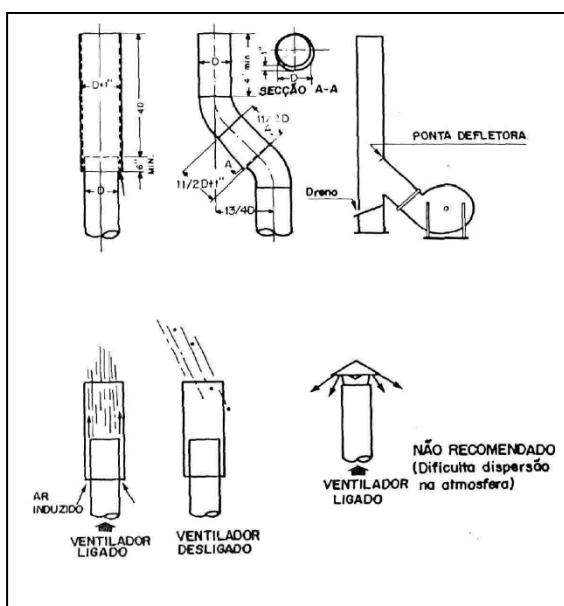
ρ = densidade do fluido;

η = eficiência mecânica do ventilador;

2.3.10 Chaminé

A chaminé é a parte do sistema de transporte dos poluentes que tem como finalidade o lançamento do gás transportado, que contém a emissão residual, na atmosfera. A proteção tipo “chapéu chinês” não é recomendada, em casos em que há necessidade de promover uma boa dispersão da emissão residual na atmosfera e, como regra geral, não deve ser utilizada, Figura 17.

Figura 17: Tipos de chaminés.

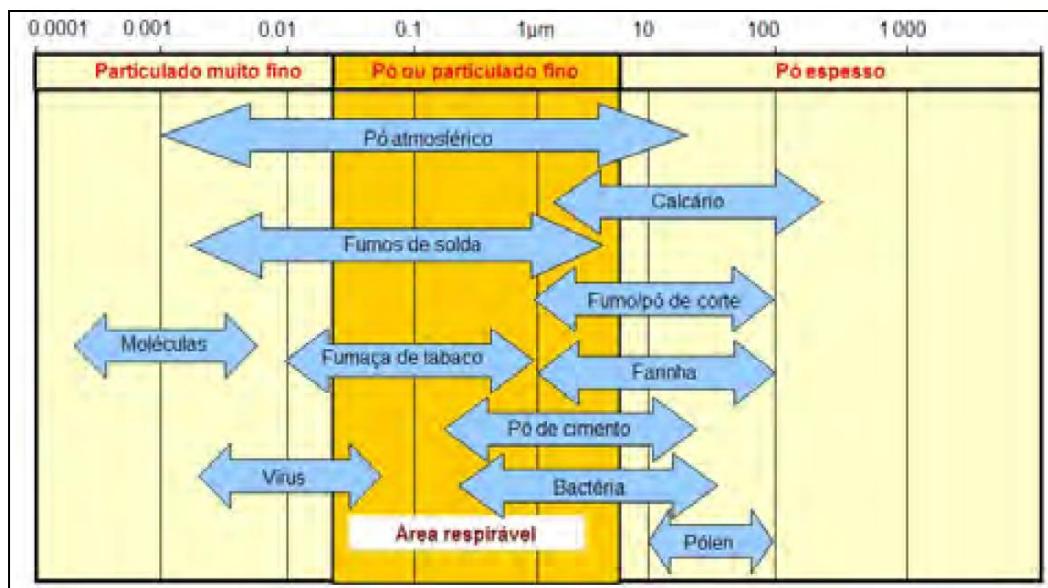


Fonte: ACGIH, USP, 2016, p. 245.

2.4 CONTAMINANTES DO AR NO PROCESSO DE SOLDAGEM

Nos processos de soldagem são dissipados vários poluentes ou contaminantes que serão descrito. Os fumos metálicos, constituídos em geral por partículas de 0,005 a 2 μm de diâmetro, Figura 18, são formados a partir de vapores e gases que se desprendem das peças em fusão, seja do eletrodo, do revestimento do eletrodo, de substância adicionada a solda, do tipo de fluxo ou pó e dos óleos protetores. Os vapores e gases, em contato com o oxigênio do ar, após resfriamento e condensação, oxidam-se rapidamente, formando os fumos (ALMENDRA et al, 1997).

Figura 18: Tamanho das partículas.



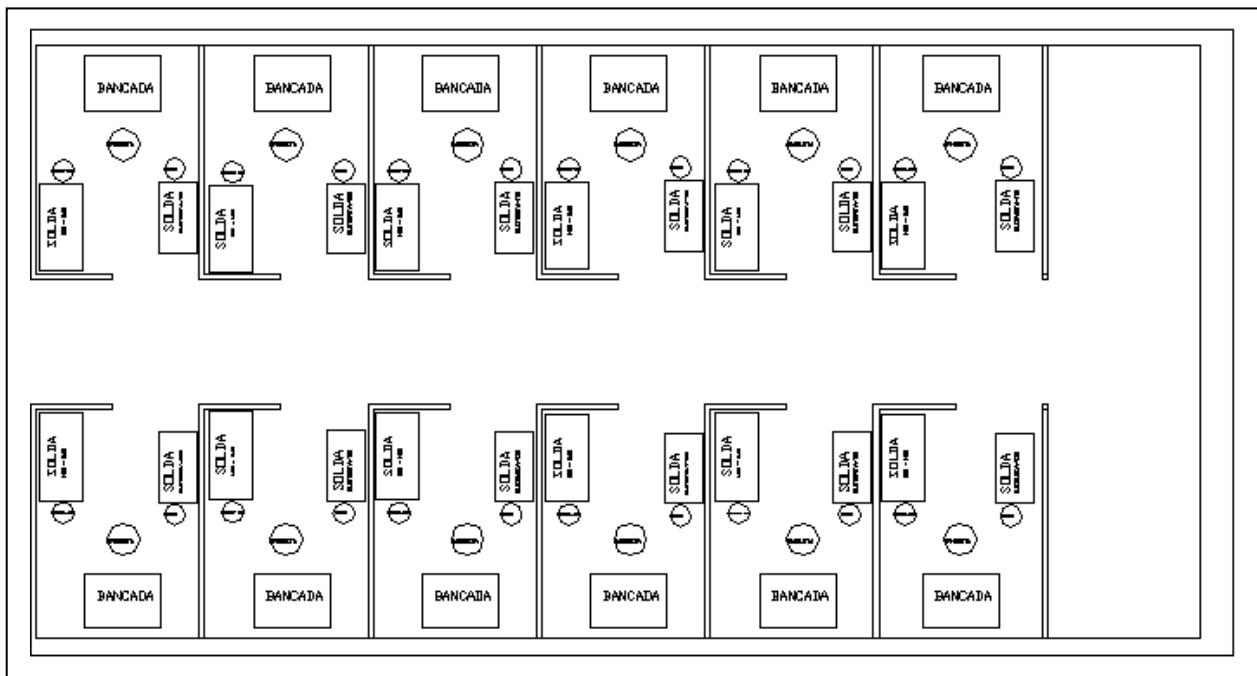
Fonte: Nederman, 2016.

3. MATERIAIS E METODOS

Foi tomada como base uma Escola Técnica e Tecnológica da Cidade de São Paulo, o laboratório a serem estudadas apresentam as dimensões de 10,40m por 5,40m, com área de 56,16m².

O laboratório de soldagem é constituído de 12 baias de 1,5mx2,10m, cada baia contém uma bancada de 0,70mx0,50m com altura de 0,81m e dois equipamento de soldagem sendo um MIG / MAG da Marca: Miller Matic Modelo: 3500 e outro de Eletrodo Revestido e TIG da Marca: High Power Modelo: 315AC/DC e dois cilindros de gás sendo, sendo um de Gás Argônio puro (cilindro Marrom) e outro de Gás de proteção C25 (argônio + CO₂), conforme desenho da Figura 19.

Figura 19: Laboratório de Soldagem.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

O estudo de caso consiste em executar um sistema de exaustão compostos por:

- Captor tipo fresta para cada baya para captação dos contaminantes gerados nos processos de soldagem;
- Transporte dos contaminantes através de redes de dutos circulares;
- Filtragem do ar através de filtro tipo manga;

- Sistema moto ventilador para fornecer energia para imprimir velocidade na partícula de 20m/s;
- Ser precipitado no filtro tipo manga ou lavador de ar;
- Devolver o ar ao ambiente externo livre de contaminantes do processo de soldagem.

O material utilizado para desenvolvimento deste trabalho foram os softwares de desenho Autocad, tabelas e gráficos de diversos Autores, Cursos de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, Especialização em Refrigeração e Ar Condicionado e catálogos de Fabricantes de equipamentos.

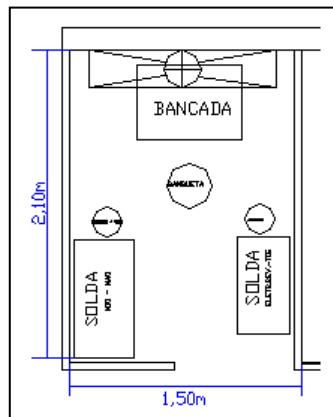
Para o dimensionamento das frestas dos captores foram utilizados tabelas e gráficos existentes nos materiais didáticos das disciplinas de Ventilação Industrial existente tanto nos cursos de Especialização em Refrigeração e Ar Condicionado e Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. O dimensionamento dos dutos através de gráficos existentes nos mesmos materiais didáticos dos cursos. A seleção do filtro tipo manga através de informações fornecido pelo Fabricante Nederman com Modelo e perda de carga e a Seleção do Ventilador através do programa de seleção do Fabricante de Ventiladores Industriais Projelmec, concluindo o desenho esquemático da instalação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DIMENSIONAMENTO DO CAPTOR TIPO FRESTA

Em função da dimensão da baia adotaremos as dimensões do captor, largura de 1,25m por altura de 0,50m demonstrada na Figura 20 abaixo.

Figura 20: Detalhe da Baia.

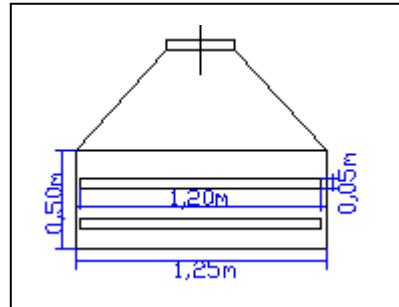


Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

4.1.1 Dimensão do Captor

Na Figura 5 temos as velocidades de captura para fumos de solda (0,5 a 1,0m/s) adotaremos 0,5m/s. Comprimento da fresta adotado em função da largura do captor, adotado 1,20m. Altura da Fresta de 25 a 75mm com no mínimo 2 frestas, fonte (FEI, 2001, p.23) adotaremos $s=50\text{mm}$, assim temos a dimensão do captor na Figura 21 abaixo.

Figura 21: Detalhe do Captor.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

4.1.2 Calculo da Vazão de Ar

Para o calculo da vazão no captor adotaremos a equação da Figura 6,

$$Q = v(10x^2 + A)$$

$$Q = \text{Vazão de ar } (m^3/h)$$

x = Distância das partículas

A = Área das frestas

v = velocidade das partículas

$x = 0,5m$ (adotado)

$$A = l \times s = 2 \times 1,20 \times 0,05 = 0,12m^2$$

v = Figura 6 (0,5 – 1,0)m/s adotado 0,50m/s

$$Q = 0,5 \times [10x(0,5)^2 + 0,12]$$

$$Q = 1,31m^3/s = 4.716m^3/h$$

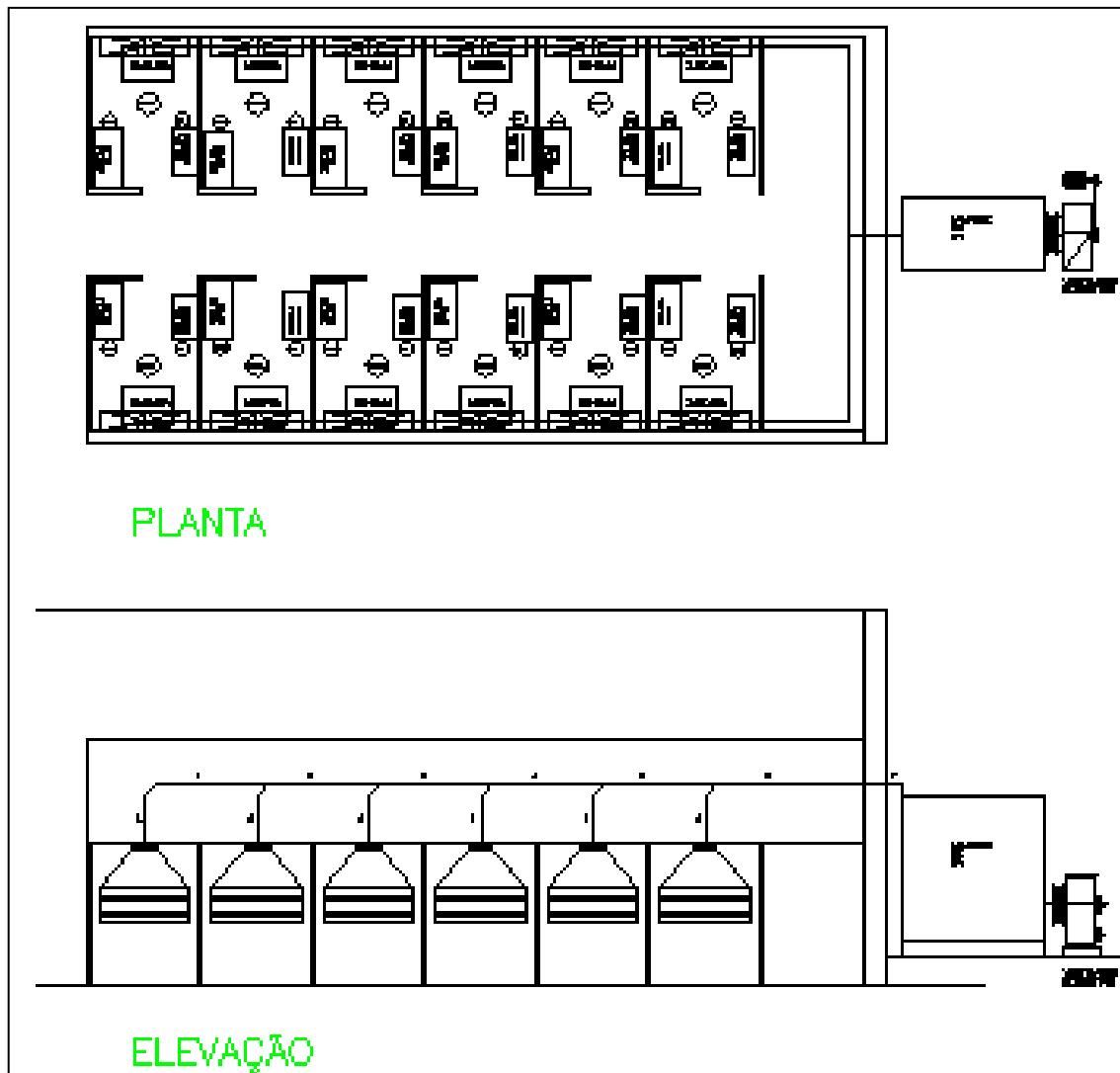
Para as 12 baias – Vazão Total

$$Q = 15,72m^3/s = 56.592m^3/h$$

4.1.3 Dimensionamento dos Dutos

Dimensionamento dos dutos de exaustão utilizando os gráficos da Figura 22, Layout e dados da Figura 23, dimensionamento de dutos.

Figura 22: Planta e Elevação do Laboratório.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

Figura 23: Dimensionamento de dutos

TRECHO	VAZÃO (m ³ /h)	VELOC. (m/s)	DIAM.DUTO (mm)	ΔP/m (mmca/m)	L (m)	Δ P (mmca)
1	4.716	20	285	1,15	3,5	4,02
2	9.432	20	400	1,0	1,5	1,50
3	14.148	20	500	0,8	1,5	1,20
4	18.846	20	570	0,7	1,5	1,05
5	23.58	20	630	0,5	1,5	0,75
6	28.291	20	700	0,5	4,5	2,25
7	56.592	20	900	0,35	8,0	2,80
						ΔP Duto
						13,57

Fonte: Dimensionamentos efetuados através dos gráficos Figuras 9 e 9a.

4.1.4 Perda de carga

4.1.4.1 Perda de carga nos dutos retos.

- Tabela 9 - $\Delta P = 13,57\text{mmca}$

4.1.4.2 Perda de carga nas curvas dos dutos a 45°.

- A 45° Figura 13 – Perda de carga em junção a 45° - 0,28xPec

$$\text{Pec} = \left(\frac{v}{4,43}\right)^2 \times p = \left(\frac{20}{4,43}\right)^2 \times 1,1 = 22,42\text{mmca}$$

$$Pc = 0,28 \times 22,42 = 6,28\text{mmca}$$

4.1.4.3 Perda de carga nas curvas dos dutos a 90°.

- A 90° Figura 12 – Perda de carga em junção a 90° - 0,27xPec

$$\text{Pec} = \left(\frac{v}{4,43}\right)^2 \times p = \left(\frac{20}{4,43}\right)^2 \times 1,1 = 22,42\text{mmca}$$

$$Pc = 0,27Pec = 0,27 \times 22,42 = 6,05 \text{ mmca}$$

4.1.4.4 Perda de carga no captor

Perda de carga nas fendas Figura 9 – $1,78 \times Pec$

$$Pec = \left(\frac{v}{4,43}\right)^2 \times p = \left(\frac{0,5}{4,43}\right)^2 \times 1,1 = 0,014 \text{ mmca}$$

$$Pc = 0,28Pec = 1,78 \times 0,014 = 0,025 \text{ mmca}$$

Perda de carga no captor, entrada do ar para o duto, adotado ângulo de 60° para duto redondo – $0,08 \times Pc$.

$$Pec = \left(\frac{v}{4,43}\right)^2 \times p = \left(\frac{20}{4,43}\right)^2 \times 1,1 = 22,42 \text{ mmca}$$

$$Pec = 0,08 \times 22,42 = 1,79 \text{ mmca}$$

$$\text{Perda de carga no captor} = 1,79 + 0,025 = 1,81 \text{ mmca}$$

4.1.4.5 Perda de carga no equipamento de filtragem.

Dados técnicos fornecido pelo Fabricante Nederman, conforme Figura 24 abaixo.

Figura 24: Dados Técnicos fornecido pela Nederman

<u>Dados técnicos:</u>	
• Quantidade:	01 (um)
• Modelo:	FMC 200 32A
• Material de construção:	Aço Galvanizado
• Vazão de operação:	56592 m³/h
• Perda de carga:	150 mmCA
• Grau de filtração:	99% para partículas acima de 0,5 microns
• Área filtrante unitária:	1856m ²
• Carga:	30 m ³ /m ² /h
• Número de cartuchos do Filtro:	128 (setenta e dois)
• Material do cartucho:	Celulose
• Dimensões:	(Aprox. h=4.100 x L=10.000 x P=1500) mm
• Reservatório inferior:	8 x 100 litros com rodízios e engate rápido
• Sistema de Limpeza*:	Jatos pulsantes durante e após a operação, controlados pelo painel do filtro (mínimo 5 Bar)
• Entrada / saída:	8 x Ø 400 / flangeada retangular

Fonte: Dados técnicos fornecido via e-mail pela Nederman, 2017.

4.1.4.6 Perda de carga total da Instalação

- Duto reto = 13,57mmca
- Curvas = $1 \times 45^\circ + 3 \times 90^\circ = 1 \times 6,28 + 3 \times 6,05 = 24,43\text{mmca}$
- Captor = 1,81mmca
- Perda de carga no filtro = 150mmca (fornecido pelo fabricante)
- Total = $13,57 + 24,43 + 1,81 + 150 = 189,81\text{mmca}$

4.1.5 Seleção do ventilador industrial

A seleção do ventilador industrial para o projeto foi executado utilizando o software de seleção da Projelmec, conforme indicado abaixo.

Figura 25: Dados de Seleção da Projelmec

PROJELMEC Ventilação Industrial		
Cliente:		Att.:
Endereço:		
Fone/Fax/UF:		
Referência:		
Proposta N°:		Data:
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Item		1
Quantidade		1
Modelo		ILS
Diâmetro	mm	1000
Arranjo/Classe		/III
Temperatura	°C	32,0
Pressão Barométrica	mmHg	760
Densidade	kg/m³	1.158
Vazão	m³/h	56592
Pressão Est. (op)	mmCA	200,0
Pressão Tot. (op)	mmCA	222,8
Pressão Est. (st)	mmCA	208,2
Pressão Tot. (st)	mmCA	231,9
Velocidade de Descarga	m/s	19,6
Rendimento	%	78,8
Rotação	rpm	1360
Potência Abs. (st)	CV	61,7
Potência Abs. (op)	CV	59,3
Velocidade Periférica	m/s	71,2
Potência Sonora	dB	113
Motor (CV/Polos)		75/IV
Tensão		
Posição ventilador/motor		
PREÇOS UNITÁRIOS		
Ventilador	X	
Motor		Cliente
Orçamento Cliente		

Fonte: Dados obtidos via software de seleção de ventiladores industriais da Projelmec, 2017.

Ventilador selecionado Mod. CLS/1000 Tipo Limit Load para vazão de 56.592m³/h e pressão disponível de 200mmca, para estas condições o motor necessário será de 75CV com nível de ruído de 113dB.

4.2 DISCUSSÃO

4.2.1 Outro sistema de exaustão

Outro sistema de exaustão existente no mercado e não fez parte deste estudo tratando-se de um sistema especial desenvolvido pela Nederman que seguramente obtém equipamento de menores dimensões sendo constituidos de braços extratores onde serão executados exaustão localizada, conforme indicado na Figura 26.

Figura:26 Sistema de exaustão com rede de dutos e braços extratores.



Fonte: Nederman, 2017.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seguindo as ideias iniciais de estudar e pesquisar informações existentes sobre os contaminantes gerados nos processos de soldagem e aplicar os conceitos de ventilação industrial sem fazer uma comparação com outros sistemas de exaustão

existentes para eliminar os poluentes do ambiente. Foram dimensionado os captores, dutos, sistemas de filtragem, após somatória de todas as perdas de cargas com vazão total necessária, dimensionado o ventilador do sistema de exaustão. Não fazendo parte deste trabalho como alimentação elétrica e estudo de tratamento acústico do sistema de exaustão.

Para a implantação do sistema de exaustão no laboratório de soldagem deverá ser executado um estudo técnico econômico comparando com o estudo elaborado neste trabalho e o sistema proposto pela Nederman e instalar o equipamento mais eficiente e de menor custo.

Obtendo assim um ambiente confortável para os usuários do Laboratório de Soldagem e eliminando o desconforto causado pela poluição com fumaças e fumos nos ambientes do laboratório e próximos ao Laboratório de Soldagem.

5 CONCLUSÕES

Os objetivos foram atingidos.

REFERÊNCIAS

ALMENDRA, A. C.; SILVA, F. L. T.; PIRANI, J. L.; RAMALHO, J. P.; POEPCKE, J. S.; GIMENES JR, L.; SARAIVA CLARA, M.; TREMONTI, M. A.; MOLINARI MIRAKAMI, M.; FANTAZINI, M. L.; BRITO, P.; ANDREUCCI, R.; JOAQUIM, R.; DUARTE BRANDE, S.; **Coleção Tecnologia Senai, Soldagem.** Senai-SP, 1997.

CLEZAR, C. A; NOGUEIRA, A. C. R. **Ventilação Industrial.** Florianópolis: UFSC, 2009.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de Ventilação Industrial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição.** 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

NEDERMAN, **Manual de Saúde para Soldadores.** São Paulo, 2016. p. 12.

FEI. Curso de Pós Graduação em Refrigeração e Ar Condicionado. In:_____ **Ventilação Industrial.** São Paulo: 2001. p. 23

USP. Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. In:_____ **Higiene do Trabalho parte C, Capítulo 11 – Introdução a Ventilação.** [sn], 2016a. p.105 a 106.

_____. Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. In:_____ **Higiene do Trabalho parte C, Capítulo 15 – Ventilação Local Exaustora – Captores.** [sn], 2016b. p.180 a 181.

_____. Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. In:_____ **Higiene do Trabalho parte C, Capítulo 16 – Ventilação Local Exaustora – Dutos.** [sn], 2016c. p.202 a 209.

_____. Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. In:_____ **Higiene do Trabalho parte C, Capítulo 17 – Equipamentos de Controle de Poluição do Ar.** [sn], 2016d. p.213 a 223.

_____. Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. In:_____ **Higiene do Trabalho parte C, Capítulo 18 – Conjunto Ventilador – Motor - Chaminé.** [sn], 2016e. p.228 a 246.

ANEXO - CATÁLOGO DE FILTRO FMC DA NEDERMAN

Filtro FMC

Pós metálicos :: Mesas de corte térmico :: Fumos de solda :: Jateamento



FILTRO FMC

Devido a construção modular, a capacidade de vazão é virtualmente ilimitada.

- Utilizado para particulado fino, fumos de solda e corte.
- Utiliza cartuchos na vertical como elementos filtrantes.
- Dois tamanhos de cartuchos disponíveis: L-Low (curto) e A-High (longo).
- Fácil remoção dos cartuchos pela porta frontal.
- Exclusivo sistema de limpeza UNICLEAN®.
- Excelente área filtrante.
- Diversos tipos de cartucho para diferentes aplicações.



Elemento filtrante.

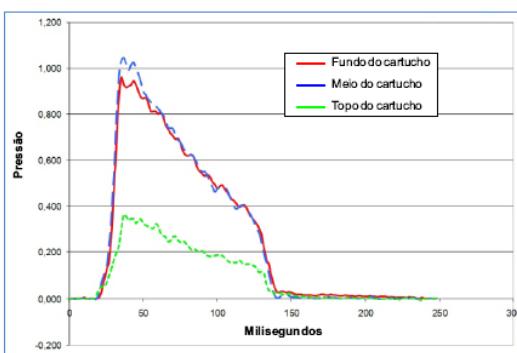
Tipo cartucho, na posição vertical.

UNICLEAN® - SISTEMA INTELIGENTE DE LIMPEZA PATENTEADO

O sistema Uniclean® fornece a mesma pressão ao longo de todo o comprimento do cartucho durante um pulso de limpeza (figura 2).

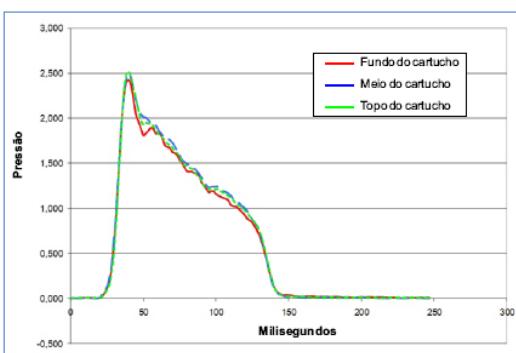
Com cartuchos convencionais existe a formação de um bolo de pó no topo, onde esta limpeza é menos eficaz, causando obstrução desta área (figura 1). A superfície de filtragem efetiva é reduzida. O sistema Uniclean® superou este problema, direcionando o pó para o meio do cartucho. Outra vantagem é que ele garante a distribuição uniforme da pressão de limpeza (figura 2).

A pressão interna de limpeza com o Uniclean® é consideravelmente maior em comparação com cartuchos convencionais - compare as figuras 1 e 2. A limpeza eficiente reduz o número necessário de pulsos de ar comprimido, consequentemente aumentando a vida útil do cartucho e diminuindo o consumo de energia.



Comparativo da pressão típica do jato de limpeza em diferentes áreas de um filtro cartucho tubular plissado convencional.

Fundo: boa pressão de limpeza.
Meio: similar ao fundo.
Topo: fraca pressão de limpeza.



Comparativo da pressão de limpeza com o sistema Uniclean® no mesmo tipo de cartucho tubular plissado.

Fundo: boa pressão de limpeza.
Meio: boa pressão de limpeza.
Topo: pressão de limpeza similar ao fundo.

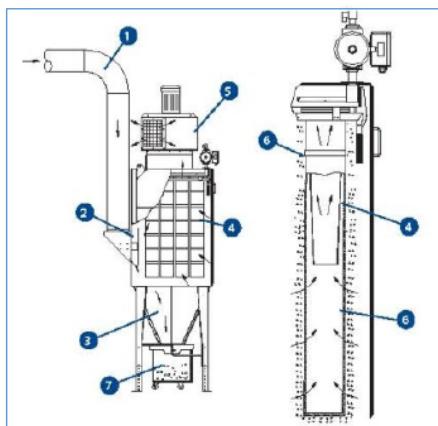
Figura 1: Limpeza de cartuchos convencionais

Figura 2: Benefícios do sistema Uniclean®

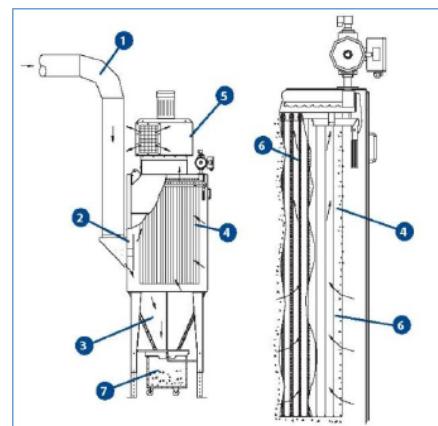
FUNCIONAMENTO DOS FILTROS FM

Durante operação normal:

1. O ar poluído entra no filtro através do duto 1.
2. O defletor standard 2 é montado na entrada do filtro para romper o fluxo de ar e direcionar o particulado mais pesado para baixo até a moega 3, a fim de proteger os elementos filtrantes.
3. O particulado mais fino é retido na parte externa do elemento filtrante 4 e o ar limpo passa através dele 6. Finalmente, o ar limpo passa pelo ventilador 5, retornando para o ambiente interno ou liberado para a atmosfera.
4. O particulado pesado passa através da moega 3 onde pode ser descarregado em um silo metálico 7 ou através de uma válvula rotativa.



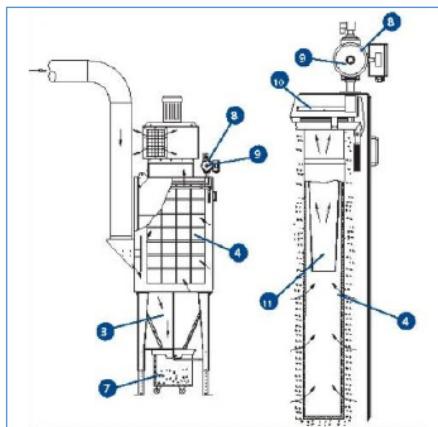
Filtro FMC



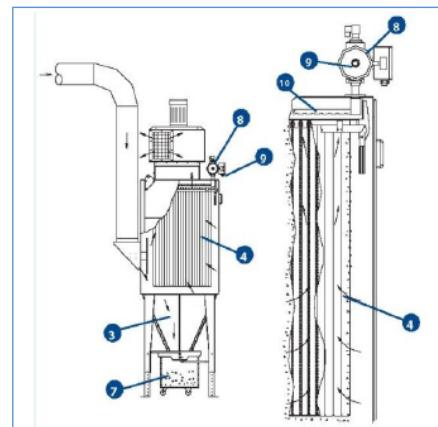
Filtro FMK

Durante a limpeza:

1. O filtro FM utiliza ΔP (diferencial de pressão) para controlar o sistema de limpeza por ar comprimido. Portanto, o filtro somente será limpo quando for necessário.
2. Uma linha de ar comprimido limpo e seco 9 deve estar conectada no final do reservatório de ar comprimido 8.
3. Uma válvula solenóide abre, liberando o ar comprimido do reservatório 8 através dos tubos injetores 10. Os tubos injetores estão alinhados sobre todos os elementos filtrantes.
4. A pressão gerada pelo pulso de ar comprimido faz com que o material se solte da parte externa do elemento filtrante 4 e caia na moega 3, podendo ser coletada em um silo metálico 7 ou descarregada através de uma válvula rotativa.
5. No modelo FMC, o sistema de limpeza Uniclean® 11 distribui a pressão de ar comprimido limpando uniformemente a parte superior, o meio e a parte inferior do cartucho.



Filtro FMC



Filtro FMK