

MARCOS SEIJI TAMASHIRO  
MIGUEL SALES DE MELO SUAREZ

Estudo e estabelecimento de condições  
para o projeto de uma bancada de  
ensaio de eficiência de filtros de ar

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia.

Nota: 10.0  
(DEZ)

  
marcos T. de Paula

São Paulo  
2001

MARCOS SEIJI TAMASHIRO  
MIGUEL SALES DE MELO SUAREZ

# Estudo e estabelecimento de condições para o projeto de uma bancada de ensaio de eficiência de filtros de ar

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

Orientador:  
Prof. Doutor  
Marcos Tadeu Pereira

São Paulo  
2001

*Marcos dedica*

*Aos meus avós pela coragem em desbravar uma nova terra e  
aos seus esforços para garantir os estudos de seus filhos.*

*Miguel dedica*

*Aos meus pais, cujo apoio e a insistência, muitas vezes  
ressentida, foram essenciais para a minha formação como  
engenheiro.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Marcos Tadeu Pereira, nosso orientador, e cujo encaminhamento foi fundamental para que pudéssemos realizá-lo.

Ao Engenheiro Mecânico Márcio Nunes do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, sempre prestativo, que nos ajudou na resolução de dúvidas e fornecendo informações necessárias para o trabalho.

Aos Amigos e aos Familiares pela paciência nos momentos difíceis.

## RESUMO

O trabalho trata do estabelecimento de condições para o projeto de uma bancada de ensaios de eficiência de filtros de ar. Foram primeiramente fornecidas algumas informações relacionadas ao motivo de utilização de filtros de ar, basicamente utilizado para o bom funcionamento de máquinas e o “bom funcionamento” de pessoas.

São apresentadas algumas aplicações, sendo estas dirigidas pelas normas estudadas, com um breve histórico e características.

As normas são apresentadas tendo suas principais características citadas. É então feita a seleção da norma.

Com a norma selecionada é realizado um projeto preliminar da bancada com o dimensionamento e seleção dos equipamentos necessários.

## ABSTRACT

The work deals with the establishment of conditions for the design of a workbench to evaluate air filters. First, it was supplied some information related to reasons to use air filters, essentially used to guarantee the proper work of machines and the “proper work” of people.

Some applications are presented, guided by the studied standards, with a brief historic and characteristics.

The standards are presented having their main characteristics listed. Then the selection of the standard is made.

With the selected standard, it is made a preliminary design of the bench with the sizing and selection of the necessary equipments.

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1 OBJETIVOS.....	1
1.1 Metas.....	1
1.1.1 Estudo dos filtros de ar utilizados.....	1
1.1.2 Estudo e seleção das normas.....	1
1.1.3 Definição das características da bancada.....	1
1.1.4 Projeto preliminar da bancada.....	1
2 INTRODUÇÃO.....	3
3 MECÂNICA DO SISTEMA RESPIRATÓRIO.....	6
3.1 Classificação dos efeitos.....	6
4 QUALIDADE DO AR.....	9
5 APLICAÇÕES DE FILTROS.....	13
5.1 Salas limpas.....	13
5.1.1 Tipos de salas limpas.....	14
5.2 Filtros absolutos.....	15
5.3 Filtros de ar automotivos.....	17
5.3.1 Indústria automotiva.....	20
5.3.2 Mercado de autopeças.....	29

---

6 REVISÃO DA LITERATURA .....	31
6.1 NBR 6401 (antiga NB 10) .....	33
6.1.1 Classificação dos filtros .....	33
6.2 ISO 5011 .....	36
6.2.1 Escopo e campo de aplicação .....	36
6.2.2 Incerteza permitida nas medições .....	36
6.2.3 Características de interesse .....	37
6.2.4 Características testadas .....	37
6.2.5 Material de ensaio .....	38
6.2.5.1 Pó de ensaio .....	38
6.2.5.2 Material do filtro absoluto .....	39
6.2.5.3 Peso do filtro absoluto .....	40
6.2.5.4 Temperatura e umidade .....	40
6.2.6 Validação do sistema de alimentação de pó .....	40
6.2.7 Validação da eficiência dos filtros absolutos .....	40
6.2.8 Procedimentos para teste do filtro de ar automotivo .....	41
6.2.8.1 Preparação do material .....	41
6.2.8.2 Teste de restrição e queda de pressão .....	41
6.2.8.3 Teste de eficiência .....	42
6.2.8.4 Teste de capacidade .....	44



---

6.2.8.5 Teste de pressão de colapso do elemento filtrante .....	45
6.2.8.6 Teste com vazão variável .....	45
6.2.9 Equipamentos de teste .....	47
6.3 SAE J726 Revised JUN93 .....	51
6.3.1 Escopo .....	51
6.3.2 Incerteza permitida nas medições .....	51
6.3.3 Características de interesse .....	52
6.3.4 Características testadas .....	52
6.3.5 Material de ensaio .....	53
6.3.5.1 Pó de ensaio.....	53
6.3.5.2 Material do filtro absoluto.....	54
6.3.6 Validação do sistema de alimentação de pó .....	55
6.3.7 Validação da eficiência dos filtros absolutos.....	55
6.3.8 Procedimento para teste de filtro de ar automotivo.....	57
6.3.8.1 Teste de restrição de vazão e queda de pressão.....	57
6.3.8.2 Teste de eficiência .....	58
6.3.8.3 Teste de capacidade .....	60
6.3.8.4 Teste de pressão de colapso .....	61
6.3.8.5 Teste de eficácia da vedação .....	61
6.3.8.6 Teste de temperaturas extremas .....	62

---

6.3.9 Equipamento de teste.....	62
6.4 ANSI/ASHRAE 52.1-1992 .....	68
6.4.1 Escopo .....	68
6.4.2 Incerteza permitida nas medições .....	69
6.4.3 Características de interesse .....	69
6.4.4 Características testadas .....	69
6.4.5 Material de Ensaio .....	70
6.4.5.1 Pó de ensaio sintético ASHRAE .....	70
6.4.5.2 Filtro final.....	70
6.4.5.3 Papel alvo para marca de pó.....	71
6.4.6 Equipamento de teste.....	71
6.5 CEN EN 779.....	73
6.5.1 Escopo .....	73
6.5.2 Materiais de ensaio .....	73
6.5.2.1 Pó de ensaio.....	73
6.5.2.2 Filtro final.....	74
6.5.2.3 Balanças .....	74
6.5.3 Classificação .....	74
6.5.4 Procedimentos para teste .....	75
6.5.4.1 Eficiência de pó atmosférico .....	75

---

6.5.4.2	Peso do pó sintético capturado (Synthetic dust weight arrestance).....	76
6.5.4.3	Determinação da capacidade de retenção de pó, eficiência média, captura média e queda de pressão .....	76
6.5.5	Equipamento de teste.....	77
6.6	MIL STD 282 - método 102.1 .....	78
6.6.1	Escopo .....	78
6.6.2	Funcionamento do mecanismo.....	78
6.6.3	Operação do mecanismo.....	79
6.6.4	Precisão nas medidas.....	79
6.6.5	Equipamento de teste.....	80
6.7	ISO 12103-1.....	81
6.7.1	Pó de teste .....	81
6.7.2	Classificação .....	81
7	DISCUSSÃO SOBRE AS NORMAS .....	83
8	MATERIAIS E MÉTODOS .....	86
8.1	Geração de material particulado .....	86
8.1.1	Atomizador de saída constante.....	86
8.1.1.1	Funcionamento .....	87
8.1.2	Bomba de vácuo .....	88
8.1.3	Classificador eletrostático.....	89
8.1.3.1	Funcionamento .....	89

---

8.1.4 Eletrômetro de aerossol .....	90
8.1.4.1 Funcionamento .....	91
8.1.5 Gerador de aerossol de leito fluidizado .....	91
8.1.5.1 Funcionamento .....	92
8.1.6 Gerador de aerossol por orifício vibrante .....	93
8.1.6.1 Funcionamento .....	94
8.1.7 Unidade de tratamento de ar .....	99
8.2 Cálculo da perda de carga .....	100
8.2.1 Perda de carga distribuída .....	100
8.2.2 Perdas localizadas .....	102
8.2.2.1 Turbina .....	102
8.2.2.2 Filtro absoluto .....	103
8.2.2.3 Filtro ensaiado .....	103
8.2.2.4 Difusor do filtro absoluto .....	103
8.2.2.5 Convergente do filtro absoluto .....	105
8.2.2.6 Difusor do filtro a ser ensaiado .....	106
8.2.2.7 Convergente do filtro a ser ensaiado .....	107
8.2.2.8 Cotovelos .....	108
8.2.2.9 Entrada da tubulação .....	110
8.2.2.10 Saída da tubulação .....	110

---

8.2.2.11 Junção do fluxo do leito fluidizado com o fluxo principal .....	111
8.2.3 Perda de carga total .....	112
8.3 Equipamentos.....	113
8.3.1 Balança .....	113
8.4 Injetor de pó.....	115
8.5 Medidor de vazão.....	115
8.6 Filtro absoluto .....	116
8.7 Gerador de vazão .....	116
8.8 Outros.....	116
9 DISCUSSÃO .....	117
10 CONCLUSÕES .....	120
10.1 Geral .....	120
10.2 Metas .....	120
10.2.1 Estudo dos filtros de ar utilizados .....	120
10.2.2 Estudo e seleção das normas .....	120
10.2.3 Definição das características da bancada.....	121
10.2.4 Projeto preliminar da bancada.....	121
10.3 Final.....	121
11 LISTA DE REFERÊNCIAS.....	122
11.1 Livros.....	122

11.2 Papers .....	122
11.3 Normas .....	123
11.4 Outros .....	124

## Lista de Figuras

Figura 1 Componentes de um filtro automotivo (Catálogo da Purolator) .....	17
Figura 2 Seção transversal típica de filtro automotivo. (Catálogo de filtros da Bosch). 18	
Figura 3 Algumas formas construtivas dos filtros (Catálogo de filtros da Bosch) .....	19
Figura 4 Diagrama esquemático do filtro redondo .....	19
Figura 5 Diagrama esquemático do filtro retangular .....	20
Figura 6 Diagrama esquemático do filtro cilíndrico .....	20
Figura 7 Configuração para teste de eficiência/capacidade– ISO 5011. ....	47
Figura 8 Configuração para teste de eficiência/capacidade com câmara de pó – ISO 5011.....	48
Figura 9 Configuração para teste de eficiência/capacidade de elemento filtrante painel – ISO 5011.....	49
Figura 10 Configuração para teste de restrição de montagem – ISO 5011.....	49
Figura 11 Configuração para teste de restrição – ISO 5011 .....	50
Figura 12 Configuração para teste de eficiência/capacidade de montagem – ISO 5011	50
Figura 13 Configuração para teste de eficiência/restrrição do elemento filtrante – SAE J726 .....	63
Figura 14 Configuração para teste de restrição de montagem – SAE J726 .....	64
Figura 15 Configuração para teste de restrição do elemento filtrante – SAE J726.....	64
Figura 16 Configuração da bancada - SAE J726.....	64
Figura 17 Configuração da bancada - SAE J726.....	65

Figura 18 Configuração para teste de eficiência e capacidade da montagem – SAE J726 .....	66
Figura 19 Configuração para teste de montagem – SAE J726.....	66
Figura 20 Configuração para teste de eficiência/capacidade de elemento filtrante com câmara de pó – SAE J726.....	67
Figura 21 Configuração da bancada – ASHRAE 52.1 .....	72
Figura 22 Configuração da bancada – CEN EN 779.....	77
Figura 23 Configuração da bancada – MIL STD 282 .....	80
Figura 24 Comparação da eficiência de filtros.....	84
Figura 25 Diagrama esquemático do funcionamento do atomizador .....	87
Figura 26 Foto do atomizador .....	88
Figura 27 Foto da bomba de vácuo.....	88
Figura 28 Foto do classificador eletrostático .....	90
Figura 29 Diagrama esquemático do eletrômetro de aerossol .....	91
Figura 30 Foto do eletrômetro de aerossol.....	91
Figura 31 Diagrama esquemático do gerador de leito fluidizado.....	92
Figura 32 Foto do gerador de aerossol por leito fluidizado .....	93
Figura 33 Detalhe de onde é gerado o leito fluidizado .....	93
Figura 34 Diagrama do gerador de aerossol.....	95
Figura 35 Diagrama da bomba seringa .....	95
Figura 36 Diagrama do orifício .....	96



---

Figura 37 Diagrama do sistema de dispersão.....	96
Figura 38 Montagem utilizada para verificar uniformidade nas partículas .....	97
Figura 39 Foto do gerador de partículas por orifício vibrante .....	97
Figura 40 Orifício durante operação.....	98
Figura 41 Demonstração da verificação de uniformidade das partículas .....	98
Figura 42 Unidade de tratamento de filtro de ar.....	99
Figura 43 Esquema da junção de fluxos .....	111

## Lista de Tabelas

Tabela I Padrões de qualidade do ar - EPA.....	10
Tabela II Padrões nacionais de qualidade do ar - CONAMA.....	11
Tabela III Critérios para episódios agudos de poluição - CONAMA .....	12
Tabela IV Classes de sala limpa .....	15
Tabela V Características de filtros absolutos.....	16
Tabela VI Classificação dos filtros HEPA.....	16
Tabela VII Estimativa da frota de veículos no Brasil - 1999 .....	21
Tabela VIII Evolução da produção de veículos período de 1957/1999.....	22
Tabela IX Evolução das vendas internas (nacionais e importados) - 1957/1999.....	24
Tabela X Frota mundial de veículos - 1989/1998 .....	26
Tabela XI Produção mundial de veículos - 1990/1999.....	28
Tabela XII Classificação dos filtros NBR 6401 .....	35
Tabela XIII Análise química do pó de teste – ISO 5011 .....	38
Tabela XIV Distribuição do tamanho das partículas (Roller Analyzer) – ISO 5011 .....	38
Tabela XV Distribuição do tamanho da partícula (método Andreason) – ISO 5011.....	38
Tabela XVI Análise química do pó de teste – SAE J726 .....	53
Tabela XVII Distribuição do tamanho da partícula (Microtac Analyzer) – SAE J726..	53
Tabela XVIII Distribuição do tamanho da partícula (método Andreason) – SAE J726	54
Tabela XIX Distribuição do tamanho da partícula (Roller Analyzer) – SAE J726 .....	54

---

Tabela XX Distribuição acumulativa das partículas – ISO 12103 .....	82
Tabela XXI Composição química – ISO 12103 .....	82
Tabela XXII Características do atomizador .....	86
Tabela XXIII Comparativo entre as balanças .....	114

---

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 Evolução da produção automotiva no Brasil – 1957/1999.....	23
Gráfico 2 Evolução das vendas internas (nacionais e importados) - 1957/1999.....	25
Gráfico 3 Distribuição da frota mundial (1998).....	27
Gráfico 4 Distribuição da produção mundial de veículos (1999).....	29
Gráfico 5 Distribuição das partículas – ISO 12103 .....	83

Estudo e estabelecimento de condições para o projeto de uma bancada de ensaios de eficiência de filtros de ar.

## **1 OBJETIVOS**

O objetivo do trabalho é o estudo e estabelecimento das condições para o projeto de uma bancada de ensaios de eficiência de filtros de ar. Para a realização do objetivo foram definidas as seguintes metas para levantamento e compilação de informações.

### **1.1 Metas**

#### **1.1.1 Estudo dos filtros de ar utilizados**

Levantamento de informações com relação aos tipos de filtros e aplicações existentes. Apresentação de uma visão geral dos filtros de ar com um breve histórico de suas aplicações.

#### **1.1.2 Estudo e seleção das normas**

Pesquisa das normas existentes relativas a ensaio de filtros de ar. Comparação das normas quanto a métodos e características avaliadas. Seleção de uma norma considerando-se critérios tais como repetibilidade, precisão e abrangência de mercado ao qual se aplica.

#### **1.1.3 Definição das características da bancada**

Após o estudo e seleção da norma ou das normas pertinentes é feita a definição das características da bancada. Nas características da bancada encontra-se qual o método a ser utilizado para avaliar o desempenho do filtro de ar. A caracterização da bancada influencia diretamente na próxima meta: Projeto preliminar da bancada.

#### **1.1.4 Projeto preliminar da bancada**

Utilizando-se as características da bancada definidas na meta anterior, executar-se o projeto preliminar da banca de teste de filtros de ar. Para o projeto preliminar realiza-se

um levantamento do equipamento necessário, características dimensionais, interação entre os equipamentos, parâmetros de funcionamento.

## 2 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é de extrema relevância em várias aplicações. A qualidade do ar é importante para a saúde e para a qualidade de vida das pessoas. Problemas respiratórios devido aos chamados “edifícios doentes” podem ser evitados.

Locais fechados de grande aglomeração, como centros de compras onde circula uma população diversa, além dos funcionários que passam oito horas diárias ou mais em seus recintos, devem cuidar da qualidade do seu ar pois disso depende a saúde de sua população “itinerante”.

Em hospitais e centros de tratamento intensivo, a qualidade do ar afeta diretamente a reação do paciente ao tratamento. A infecção hospitalar também deve ser controlada nesse ponto.

O seu controle esta diretamente relacionado com o desempenho e viabilidade de alguns processos e a saúde das pessoas.

O controle da qualidade do ar para a utilização em dispositivos de combustão interna é fator que influencia o seu desempenho e sua vida útil. Na indústria farmacêutica, na microeletrônica e na mecânica de precisão a qualidade ou mesmo a viabilidade da produção de certos tipos de produtos é vinculada à quantidade de material particulado presente no ar.

Não somente o ar que entra deve ser tratado. O ar resultante de processos muitas vezes também o deve ser. A quantidade de material particulado lançada no ar é questão de legislação ambiental e empresas poluidoras já não são toleradas pela sociedade. O posicionamento da empresa como politicamente correta ou ainda ecologicamente correta representa dividendos que podem ser levados em consideração na participação de uma licitação ou na incursão em novos mercados.

Não obstante isso a retenção de material proveniente de processos pode gerar economia com a recuperação de elementos, muitas vezes preciosos, que seriam simplesmente descartados e levados ao vento.

Existem os inúmeros equipamentos que podem ser utilizados para o controle da qualidade do ar. De acordo com GORDON; PEISAKHOV (1972) estes podem ser classificados como:

1. Dispositivos cuja operação é baseada na força da gravidade – câmaras de pó, chaminés.
2. Aparatos usando força centrífuga- Separadores de ciclone, Tipo Louvre e Coletores inerciais de pó
3. Separadores molhados de pó – “esfregão” (scrubber), aparato esponja (foam), escova venturi (turbulenta)
4. Precipitador eletrostático – aparato para separação de pó num campo eletrostático
5. Filtros de pano ou papel

Analisando-se os dispositivos baseados em filtro observa-se que a eficiência do equipamento que irá controlar a qualidade desse ar esta diretamente relacionada com a qualidade e o tipo de filtros. Como há vários tipos de aplicações existe também uma grande variedade de tipos de filtros, dependendo da sua finalidade. Sua constituição também varia podendo ser construídos de diversos materiais, entre eles pode-se citar: compósitos, membranas de acrílico, fibra de vidro, poliéster, polipropileno e membrana de teflon.

A determinação da eficiência dos filtros é necessária, para se verificar os requisitos de utilização ou no controle de qualidade por exemplo, e para isso a medição das diversas propriedades, como perda de carga, porcentagem de material particulado e quantidade máxima de material particulado que o elemento consegue reter, deve ser feita. Tais dados determinarão as características do filtro de ar.

As bancadas assim como os procedimentos de testes devem permitir a repetibilidade do experimento de modo que os resultados possam ser comparados independente da instituição responsável ou do local de teste, sendo necessária a adoção de um conjunto de procedimentos em uma norma. Para padronizar os procedimentos de testes de filtros



existem várias normas definidas com o seu conteúdo variando dependendo da finalidade e da agência reguladora.

Cabe ao agente certificador selecionar a norma adequada tendo em vista a finalidade: automotivo, aeronáutico, salas limpas, etc e o mercado ao qual se destina a análise devido ao número de agências reguladoras e a diferença entre metodologias nas normas existentes.

### **3 MECÂNICA DO SISTEMA RESPIRATÓRIO**

Para se entender os efeitos fisiológicos da inalação de material aéreo precisa-se compreender os processos básicos envolvidos. A mecânica do sistema respiratório influencia na quantidade, intensidade e nível de penetração dos contaminantes no organismo.

O ar entrando no nariz ou pela boca passa imediatamente pela faringe e então pela laringe. Dali o ar entra pela traquéia que, uma vez entrando a caixa torácica, divide-se entre os brônquios direito e esquerdo. O brônquio por sua vez se divide progressivamente em menores ramificações que são denominadas tubos bronquiais, que estão dentro dos pulmões. Esses terminam em sacos de ar alveolares cujas paredes contem endentações (os alvéolos) de diâmetros por volta de 0,015 centímetro. As paredes do alvéolo contêm os capilares pulmonares dentro do qual a troca de oxigênio e dióxido de carbono ocorre.

A traquéia é coberta com uma membrana mucosa, cujas células mais exteriores são cobertos com cílios, pequenos pêlos, que constantemente empurram para frente e para trás a mucosa umidificando as paredes da traquéia.

A mecânica do sistema respiratório influencia o modo como os contaminantes atingem o organismo e desse modo determinam a extensão dos seus efeitos.

#### **3.1 Classificação dos efeitos**

A classificação de contaminantes atmosféricos de acordo com sua ação no corpo humano é extremamente difícil devido a várias razões. O tipo de ação varia bastante com o tempo de exposição, concentração do contaminante, susceptibilidade do receptor, e se os efeitos são agudos ou crônicos. A seguir apresenta-se a classificação sugerida por CADLE (1965):

1. Irritantes. Contaminantes irritantes são os materiais que inflamam as membranas. Alguns deles, tais como os fumos de ácido nítrico e finas gotas de soluções de

hidróxido de sódio, destroem o tecido parcialmente. Não é tão óbvia a classificação dos efeitos de outros contaminantes onde pode haver uma reação química envolvida.

2. **Asfixiantes.** Essas substâncias interferem com os processos normais oxidantes no corpo, ou evitando que oxigênio suficiente chegue no sangue ou interferindo com a oxidação dos tecidos mesmo se o sangue recebe oxigênio suficiente. O primeiro caso pode ser uma simples objeto de diluição por gases relativamente inertes tais como dióxido de carbono, nitrogênio, hidrogênio ou metano. Partículas aéreas não podem, obviamente, ser envolvidas nesse tipo de ação. A asfixia pode ser também resultado de uma irritação que originou um edema, acúmulo anormal de líquido, como o produzido por dióxido de nitrogênio. Destruições graves de tecido do pulmão por substâncias que a baixa concentração são irritantes podem causar asfixia, e assim como podem os polens e outros materiais aéreos se eles produzirem espasmos no sistema respiratório superior. Inúmeros venenos bem conhecidos são asfixiantes do segundo tipo. Nesses incluem-se os cianuretos de hidrogênio, monóxido de carbono, cianogênios, aminas aromáticas tais como a anilina, nitrobenzeno, e sulfeto de hidrogênio. Esse tipo de envenenamento normalmente resulta da inalação de gases, mas isso não é sempre o caso. Por exemplo, a inalação de pós de sódio ou cianureto de potássio pode causar a morte.
3. **Anestésiantes e narcóticos.** As substâncias que caem nessa categoria são bem óbvias. Em geral eles tem uma ação supressora no sistema nervoso central. Embora tais substâncias possam ser gasosas, líquidas, ou sólidas, raramente líquidos e sólidos dessa categoria entram nos pulmões acidentalmente. Por outro lado, elas podem entrar nos pulmões intencionalmente, no fumo de ópio e inalação de cocaína, por exemplo.
4. **Venenos sistêmicos.** Nessa categoria se inclui uma variedade de venenos que afetam muitos órgãos do corpo. Pode-se citar inúmeros metais tóxicos, vários componentes não-metálicos tais como o óxido de arsênico e vários fluorados, e os relativamente não voláteis “gases nervosos” e inseticidas relacionados. Essas últimas substâncias podem ser consideradas asfixiantes, pois morte pode ser o resultado de paralisia do sistema respiratório.

5. Materiais particulados (pós) produtores de fibrose. Nesses se incluem a sílica, os asbestos, bauxita e mesmo o antracito (tipo de carvão fóssil).
6. Materiais particulados (pós) produtores de reações alérgicas. Esses incluem uma vasta variedade de pós, mas pólen e “pó doméstico” parecem ser os mais comuns.
7. Bactérias e outros micro-organismos.

## **4 QUALIDADE DO AR**

Existe muita discussão sobre qualidade do ar. A qualidade do ar também é definida em norma ou regulada através de leis. A seguir apresentam-se algumas definições de órgãos competentes.

A EPA (Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental) dos Estados Unidos define o que é denominado NAAQS (National Ambient Air Quality Standards – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiente) para poluentes considerados danosos a saúde pública e ao meio-ambiente. A lei que regulamenta o assunto define dois tipos de padrões nacionais:

- Padrões Primários: definem limites para proteger a saúde pública, incluindo a saúde da população “sensível” como asmáticos, crianças, e idosos.
- Padrões Secundários: definem limites para proteger bem-estar público, incluindo proteção contra diminuição da visibilidade, danos a animais, plantações, vegetação, e edificações.

Tabela I Padrões de qualidade do ar - EPA

Poluente	Valor padrão *		Tipo Padrão
Monóxido de Carbono (CO)			
Média de 8 horas	9 ppm	(10 mg/m <sup>3</sup> )	Primário
Média de 1 hora	35 ppm	(40 mg/m <sup>3</sup> )	Primário
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )			
Média Aritmética Anual	0.053 ppm	(100 µg/m <sup>3</sup> )	Primário e Secundário
Ozônio (O <sub>3</sub> )			
Média de 1 hora	0.12 ppm	(235 µg/m <sup>3</sup> )	Primário e Secundário
Média de 8 horas **	0.08 ppm	(157 µg/m <sup>3</sup> )	Primário e Secundário
Chumbo (Pb)			
Média Trimestral	1.5 µg/m <sup>3</sup>		Primário e Secundário
Particulado (PM 10) <i>Partículas com diâmetro de 10 micrometros ou menos</i>			
Média Aritmética Anual	50 µg/m <sup>3</sup>		Primário e Secundário
Média de 24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>		Primário e Secundário
Particulado (PM 2.5) <i>Partículas com diâmetro de 2.5 micrometros ou menos</i>			
Média Aritmética Anual **	15 µg/m <sup>3</sup>		Primário e Secundário
Média de 24 horas **	65 µg/m <sup>3</sup>		Primário e Secundário
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )			
Média Aritmética Anual	0.03 ppm	(80 µg/m <sup>3</sup> )	Primário
Média de 24 horas	0.14 ppm	(365 µg/m <sup>3</sup> )	Primário
Média de 3 horas	0.50 ppm	(1300 µg/m <sup>3</sup> )	Secundário

\* Valor parentético é a concentração equivalente aproximada

\*\* Os valores de Média de Ozônio para 8 horas e do Particulado (PM 2.5) estão para informação somente. Esses padrões ainda não foram implementados pois estão em dependência de decisão da Suprema Corte dos Estados Unidos.

No Estado de São Paulo, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) realiza um controle da qualidade do ar devido ao comprometimento da qualidade do ar em certas áreas. A seguir são apresentados alguns parâmetros utilizados pela CETESB no controle da qualidade do ar nessas áreas.

A CETESB utiliza como parâmetro um padrão de qualidade do ar definido através da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90 do IBAMA que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados através da Portaria GM 0231 de 27/04/76.

Os padrões estabelecidos através dessa portaria foram submetidos ao CONAMA em 28.06.90 e transformados na Resolução CONAMA nº 03/90.

São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e secundários. Os padrões primários definem concentrações de poluentes que se ultrapassadas poderão afetar a saúde da população. Os padrões primários são considerados metas de curto e médio prazo.

Nos padrões secundários são definidas concentrações de poluentes que se não ultrapassados afetam minimamente o bem estar da população, a fauna, flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Os padrões secundários são considerados metas de longo prazo.

Tabela II Padrões nacionais de qualidade do ar - CONAMA

**Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90)**

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de medição
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA (2)	80	60	
Dióxido de Enxofre	24 horas	365	100	Pararosanilina
	MAA (3)	80	40	
Monóxido de Carbono	1 hora (1) 8 horas	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
		10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Refletância
	MAA (3)	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação Inercial / Filtração
	MAA (3)	50	50	
Dióxido de Nitrogênio	1 hora (1)	320	190	Quimiluminescência
	MAA (3)	100	100	

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

A resolução apresenta ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Esses critérios são apresentados a seguir.

Tabela III Critérios para episódios agudos de poluição - CONAMA

Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Res. CONAMA nº 3 de 28/06/90)

PARÂMETROS	NÍVEIS		
	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
Dióxido de Enxofre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	800	1.600	2.100
Partículas Totais em Suspensão (PTS) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	375	625	875
SO <sub>2</sub> X PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	650.000	261.00	393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
Ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 1 h	400*	800	1.000
Partículas Inaláveis ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	250	420	500
Fumaça ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h	250	420	500
Dióxido de Nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 1 h	1.130	2.260	3.000

\* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na legislação Estadual que é mais restritiva (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



## 5 APLICAÇÕES DE FILTROS

A seguir descreve-se algumas aplicações de filtros de ar. São apresentadas as utilizações em salas limpas e automotivas. Os filtros absolutos são introduzidos também. Os filtros absolutos são utilizados em vários lugares: de salas limpas, unidades de tratamento em hospitais e em aviões por exemplo e por isso será também feita uma introdução às suas características e classificações.

### 5.1 Salas limpas

Sala limpa é uma sala onde a concentração de partículas aéreas é controlada até limites especificados. A primeira utilização de filtros em salas limpas data do começo da década de 50 onde uma sala de 185,80 metros quadrados (2.000 pés quadrados) foi utilizada para pesquisa e desenvolvimento do mecanismo de controle de fogo nos aviões bombardeiros B-52. A exigência de salas limpas era devido a necessidade de se fabricar engrenagens com extrema precisão.

A segunda sala limpa foi construída com 1.858,06 metros quadrados (20.000 pés quadrados) na fábrica da força aérea de Chicago e utilizada para os mesmos propósitos que a anterior. Observa-se que, devido a não existência de conhecimentos suficientes sobre o projeto de salas limpas, um número muito alto de partículas foi medido dentro da sala.

Posteriormente uma outra sala limpa, uma das primeiras a ser construída, pertencente a American Bosch Arma Corporation seria utilizada para a montagem e teste de acelerômetros. A construção desta sala é datada de 1958 utilizando-se a experiência ganha com as duas salas limpas anteriormente citadas.

Na década de 60 foram construídas inúmeras salas limpas para aplicações tanto industriais como em hospitais. Neste período foram construídas salas limpas de fluxo laminar e de fluxo turbulento, a serem explicadas posteriormente, havendo até salas limpas móveis (montadas em trailers).

O tipo mais comum de filtro de ar utilizado nas salas limpas é o filtro HEPA.

### 5.1.1 Tipos de salas limpas

As salas limpas podem ser divididas em dois tipos principais baseando-se na configuração do fluxo de ar que foi projetado para a instalação.

O tipo primeiramente utilizado foi a denominada Sala Limpa Convencional que utiliza condições turbulentas de fluxo de ar em seu interior. Neste tipo de sala os padrões de escoamento turbulento dentro da sala fazem com que não haja uniformidade na umidade e na temperatura da sala. Estes padrões também causam uma movimentação muito grande das partículas aéreas de modo que um contaminante pode passar muitas vezes pela estação de trabalho antes de deixar a sala.

O segundo tipo de sala limpa que começou a ser utilizado em 1961 é a chamada Sala Limpa de Fluxo Laminar ou Sala Limpa de Segunda Geração. O termo fluxo laminar quando usado em relação a salas limpas não se encaixa na definição de fluxo laminar que utiliza o número de Reynolds mas indica a configuração dos filtros na sala. Neste tipo de sala limpa o ar em toda a sala se move uniformemente a uma mesma velocidade e numa mesma direção.

Pode-se ainda dividir este tipo de sala limpa em sala com fluxo horizontal ou vertical. Nas salas com fluxo vertical uma das paredes da sala é inteiramente forrada com o filtro de ar e é por esta parede que o ar entra enquanto na parede contrária há uma grelha que possibilita a saída do ar. Nas salas com fluxo horizontal o ar sai do teto e o filtro é forrado no teto da sala. No chão há uma grelha que possibilita a saída do ar.

As salas limpas são classificadas de acordo com a sua limpeza. É definido em norma (Federal Standards 209E) o número de partículas estatisticamente permitido por pé cúbico.

Algumas características das salas limpas que se pode citar são:

- O ar é recirculado através de filtros HEPA;
- O vapor fica contido então o potencial de contaminação é muito alto.

- Sistemas de alarme e detecção de gás são instalados.
- Temperatura é controlada entre 20°C e 22°C.
- Umidade é controlada entre 40 a 46% RH.
- A sala é mantida a pressão positiva com exceção a salas operando com material biológico que são mantidas a pressão negativa para manter os organismos seguros.

Tabela IV Classes de sala limpa

Classe	Número de partículas de tamanho x por pé cúbico	
	0,5µm	5µm
100000	100000	650
10000	10000	65
1000	1000	6,5
100	100	0,65
10	10	0,065
1	1	0,0065
0,5	0,5	0,0033

## 5.2 Filtros absolutos

Os filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air – filtros de ar para partículas de alta eficiência) são um dos filtros de maior eficiência disponíveis para a filtragem de partículas pequenas juntamente com o ULPA (Ultra Low Penetration Air – filtro de infiltração de ar ultrabaixa).

Por definição um filtro HEPA deve capturar um mínimo de 99,97% de contaminantes de 0,3 micron de tamanho e os filtros ULPA devem capturar um mínimo de 99,99999% de contaminantes de 0,12 micron de tamanho.

Os filtros HEPA foram desenvolvidos na década de 40 pela companhia Artur D. Little para um projeto confidencial do governo americano. Os filtros eram necessários para se ter um meio eficiente de filtrar contaminantes radioativos. Eles foram utilizados como parte do projeto Manhattan, projeto de desenvolvimento da bomba atômica. Depois da segunda guerra mundial a tecnologia dos filtros HEPA deixou de ser confidencial e a produção comercial dos mesmos começou em 1950.

Inicialmente os filtros HEPA foram utilizados em salas isoladas em hospitais, na indústria farmacêutica e na manufatura de chips para computador. Hoje, os filtros HEPA são utilizados em uma grande variedade de aplicações tais como usinas nucleares, indústria eletrônica, farmacêutica, aeroespacial, além do campo da medicina.

Atualmente os filtros HEPA estão sendo desenvolvidos pela indústria de semicondutores para superar suas características originais.

Recentemente aparelhos domésticos também começaram a utilizar os filtros HEPA visto que eles podem ser utilizados para reter micróbios e infectantes que causam alergia. Estes acabaram por ser denominados de filtros tipo HEPA por não terem uma capacidade de retenção tão grande quanto os filtros HEPA.

Os filtros tipo HEPA que são definidos como aqueles que retém um mínimo de 94% a até 99,97% de contaminantes de 0,3 micron de diâmetro.

Tabela V Características de filtros absolutos.

Tipo de filtro	Diâmetro da partícula ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência esperada
Tipo HEPA (HEPA type)	0,3	Entre 94% e 99,97%
HEPA	0,3	Acima de 99,97%
ULPA	0,12	Acima de 99,99999%

Tabela VI Classificação dos filtros HEPA

Tipo	Aplicação	Desempenho
A	Industrial, não crítica	> 99,97% @ 0,3 (MIL STD282)
B	Contenção nuclear	> 99,97% @ 0,3 (Certificado pelo DOE*)
C	Fluxo laminar	> 99,97% @ 0,3 (MIL STD282)
D	ULPA (ultra-low penetration)	> 99,9995% @ 0,12
E	Contenção tóxica, nuclear e biológica	MIL F-51477 MIL F-51068 (Desempenho confidencial)

\* Departamento de Energia (Department of Energy)

### 5.3 Filtros de ar automotivos

A explosão controlada no motor de um carro, resultante da combinação de ar, combustível e uma faísca, causa o movimento do pistão, que produz o movimento desejado no veículo.

Para cada litro de combustível, aproximadamente 9.000 a 10.000 litros de ar são consumidos. O ar que entra nos motores deve passar primeiro pelo filtro de ar. Observa-se daí a sua importância relacionada diretamente com a qualidade do ar admitido no processo.

Caso o filtro de ar esteja sujo, três efeitos indesejáveis podem ocorrer: desgaste e redução da potência do motor e degradação da resposta do carro ao acelerador. Deste modo, observa-se que para um correto funcionamento do motor é necessário um fluxo suficiente de ar e para um desgaste reduzido é necessária a sua limpeza.

Um filtro de ar para carros deve proporcionar uma quantidade suficiente de ar sem comprometer a limpeza do mesmo. Um exemplo de um filtro é mostrado na figura:



Figura 1 Componentes de um filtro automotivo (Catálogo da Purolator)

Geralmente o filtro automotivo tem três componentes principais:

1. Vedação: envolve o meio filtrante promovendo a vedação da câmara de passagem de ar fazendo com que todo o ar que entra no motor passe pelo meio filtrante. Deve permanecer flexível mesmo em temperaturas frias.

2. Meio filtrante: remove a sujeira do ar que entra no motor.
3. Tela externa: fornece rigidez ao filtro ao mesmo tempo em que permite a passagem do ar.

Nos filtros para carros, recomenda-se que se troque o filtro a cada aproximadamente 12.000 quilômetros (7.500 milhas). Podemos encontrar nos veículos mais modernos uma recomendação de troca a cada 20.000 quilômetros, sendo menor se o uso for considerado “intensivo”.

O filtro é projetado para ser utilizado apenas por um tempo limitado. Ao trocar um filtro a cor escura presente indica que ele está funcionando já que a sujeira está sendo retida.

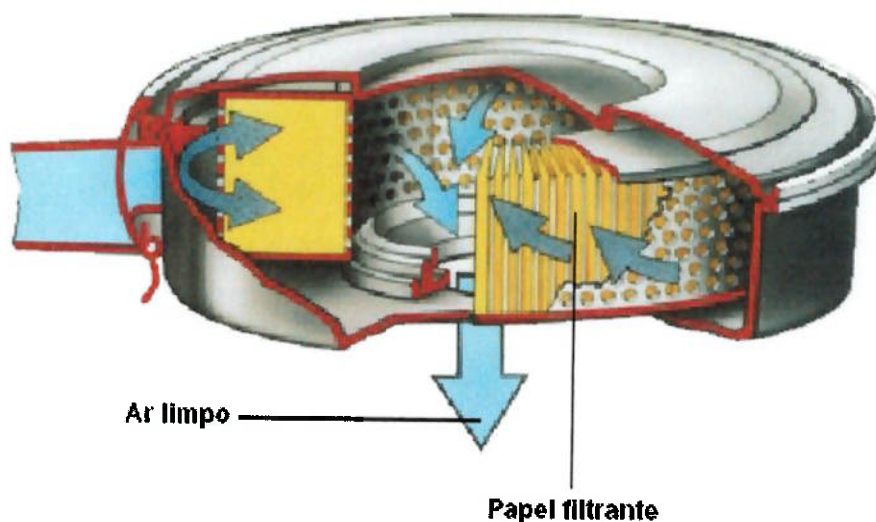


Figura 2 Seção transversal típica de filtro automotivo. (Catálogo de filtros da Bosch)

Observa-se na Figura 2 que o ar aspirado, sujo, é forçado a passar pelo meio filtrante, papel, e então é encaminhado para o motor, limpo, onde é utilizado na combustão.

Pode-se ainda notar na construção do filtro, o papel plissado utilizado para aumentar a área de filtração do dispositivo mantendo dimensões compactas. Sua forma e tamanho pode variar dependendo do desenho do fabricante e potência do veículo. Alguns exemplos de formato de filtro são mostrados na Figura 3 onde pode-se observar o formato denominado cilíndrico pesado, cilíndrico leve, painel.



No filtro o componente mais importante é o meio filtrante. Este deve possuir tramas que retenham as partículas e deixem somente passar o ar limpo para o motor do veículo.

O meio filtrante geralmente é de papel, que deve possuir propriedades não comumente encontradas no papel como resistência à umidade, em várias situações o filtro estará sujeito a condições de alta umidade, durante uma chuva por exemplo, e deve manter-se íntegro não permitindo a passagem de partículas para o motor.



Figura 3 Algumas formas construtivas dos filtros (Catálogo de filtros da Bosch)

O formato redondo ou cilíndrico é o mais tradicional entre os veículos. Porém ele ocupa muito espaço dentro do capô quando montado. Nos veículos mais modernos o filtro de formato retangular já é mais utilizado por poder ser colocado em qualquer espaço do compartimento do motor.



Figura 4 Diagrama esquemático do filtro redondo

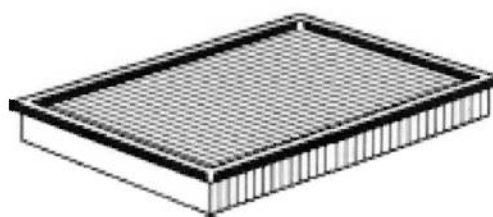


Figura 5 Diagrama esquemático do filtro retangular



Figura 6 Diagrama esquemático do filtro cilíndrico

### **5.3.1 Indústria automotiva**

No tópico 5.3 foi feita uma descrição dos filtros automotivos. Para a construção de uma bancada de ensaio para fornecimento de serviço para essa área deve-se levantar qual o tamanho do mercado em potencial. A seguir são demonstrados alguns dados estatísticos, relacionados ao mercado automobilístico brasileiro, disponibilizados pela ANFAVEA (Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores).

A indústria automotiva no Brasil possui uma base instalada que produziu em 1999 1.107.751 automóveis, 172.866 veículos comerciais leves (camionetas de uso misto, utilitários, camionetas de carga) e 70.211 comerciais pesados (caminhões e ônibus), constituindo assim um total geral de 1.350.828 veículos produzidos.



A frota existente é estimada em 14.903.000 automóveis, 2.315.000 comerciais leves, 1.179.000 caminhões, 203.000 ônibus, 85.000 microônibus perfazendo um total de 18.685.000 veículos.

A entrada de novos veículos e renovação da frota não é insignificante em 1999 foram vendidos 1.010.390 automóveis, 180.631 comerciais leves, 50.665 caminhões, 10.679 ônibus, um total de 1.252.365 veículos vendidos.

Em termos de autopeças, filtros de ar para ser exato, somente para automóveis novos tem-se mais de 1.000.000 de filtros instalados. Para o mercado de reposição, considerando-se que os fabricantes recomendam a troca num intervalo entre 10.000 e 20.000 quilômetros, ou com intervalos menores dependendo do tipo de uso, pode ser estimada a existência de uma troca a cada 2 anos em média. Têm-se para o mercado de reposição um mercado estimado anual de aproximadamente metade da frota circulante, ou seja por volta de 7.500.000 automóveis. considerando-se automóveis novos e mercado de reposição tem-se um mercado estimado considerando-se números de 1999 de 8.500.000 de unidades vendidas por ano.

Tabela VII Estimativa da frota de veículos no Brasil - 1999

<i>Mil unidades</i>						
	Automóveis	Comerciais leves	Caminhões	Ônibus	Microônibus	Total
Brasil	14.903	2.315	1.179	203	85	18.685

Tabela VIII Evolução da produção de veículos período de 1957/1999

Ano	Automóveis	Comerciais Leves				Comerciais Pesados			Total Geral
		Camionetas de uso misto	Utilitários	Camionetas de carga	Total	Caminhões	Ônibus	Total	
1957	1.166	490	9.164	1.217	10.871	16.259	2.246	18.505	30.542
1958	3.831	7.504	14.273	4.703	26.480	26.998	3.674	30.672	60.983
1959	14.495	15.793	18.083	8.083	41.959	36.657	3.003	39.660	96.114
1960	42.619	19.195	19.514	10.026	48.735	37.810	3.877	41.687	133.041
1961	60.205	24.439	17.621	12.826	54.886	26.891	3.602	30.493	145.584
1962	83.876	25.969	22.247	19.432	67.648	36.174	3.496	39.670	191.194
1963	94.764	27.449	13.432	14.516	55.397	21.556	2.474	24.030	174.191
1964	104.710	27.441	11.853	15.209	54.503	21.790	2.704	24.494	183.707
1965	113.772	24.323	9.496	12.637	46.456	21.828	3.131	24.959	185.187
1966	128.821	28.607	14.426	17.702	60.735	31.098	3.955	35.053	224.609
1967	139.260	30.272	8.140	16.009	54.421	27.141	4.665	31.806	225.487
1968	165.045	36.594	7.328	23.062	66.984	40.642	7.044	47.686	279.715
1969	244.379	34.567	5.193	23.313	63.073	40.569	5.679	46.248	353.700
1970	306.915	35.518	4.723	26.487	66.728	38.388	4.058	42.446	416.089
1971	399.863	37.054	5.663	31.123	73.840	38.868	4.393	43.261	516.964
1972	471.055	43.316	5.534	43.479	92.329	53.557	5.230	58.787	622.171
1973	564.002	47.354	6.563	56.893	110.810	69.202	6.362	75.564	750.376
1974	691.310	52.649	7.510	66.776	126.935	79.413	8.262	87.675	905.920
1975	712.526	54.450	7.346	67.099	128.895	78.688	10.126	88.814	930.235
1976	765.291	57.687	7.010	60.673	125.370	83.891	12.059	95.950	986.611
1977	732.360	37.627	3.019	32.991	73.637	101.368	13.828	115.196	921.193
1978	871.170	41.514	5.321	45.400	92.235	86.269	14.340	100.609	1.064.014
1979	912.018	41.002	5.770	63.293	110.065	93.051	12.832	105.883	1.127.966
1980	933.152	34.360	5.631	75.549	115.540	102.017	14.465	116.482	1.165.174
1981	585.834	17.096	2.856	85.354	105.306	76.350	13.393	89.743	780.883
1982	672.589	23.214	3.100	103.883	130.197	46.698	9.820	56.518	859.304
1983	748.371	14.306	1.636	90.456	106.398	35.487	6.206	41.693	896.462
1984	679.386	15.497	1.107	112.826	129.430	48.497	7.340	55.837	864.653
1985	759.141	16.331	1.512	116.570	134.413	64.769	8.385	73.154	966.708
1986	815.152	14.235	2.867	128.316	145.418	84.544	11.218	95.762	1.056.332
1987	683.380	13.395	3.134	132.318	148.847	74.205	13.639	87.844	920.071
1988	782.411	21.095	2.747	172.266	196.108	71.810	18.427	90.237	1.068.756
1989	730.992	17.641	2.425	184.942	205.008	62.699	14.553	77.252	1.013.252
1990	663.084	17.258	1.775	165.721	184.754	51.597	15.031	66.628	914.466
1991	705.303	11.999	1.655	168.955	182.609	49.295	23.012	72.307	960.219
1992	815.959	16.085	384	185.122	201.591	32.025	24.286	56.311	1.073.861
1993	1.100.278	25.495	265	198.627	224.387	47.876	18.894	66.770	1.391.435
1994	1.248.773	38.967	231	211.846	251.044	64.137	17.435	81.572	1.581.389
1995	1.297.467	43.975	247	195.177	239.399	70.495	21.647	92.142	1.629.008
1996	1.458.576	67.740	244	211.713	279.697	48.712	17.343	66.055	1.804.328
1997	1.677.858	65.263	320	240.962	306.545	63.744	21.556	85.300	2.069.703
1998	1.254.016	41.331	449	204.603	246.383	63.773	21.458	85.231	1.585.630
1999	1.107.751	24.796	719	147.351	172.866	55.277	14.934	70.211	1.350.828

Nota : Em camionetas de carga estão incluídas 87 unidades movidas à eletricidade produzidas pela Gurgel S.A Indústria e Comércio de Veículos no período de 1981 a 1985.

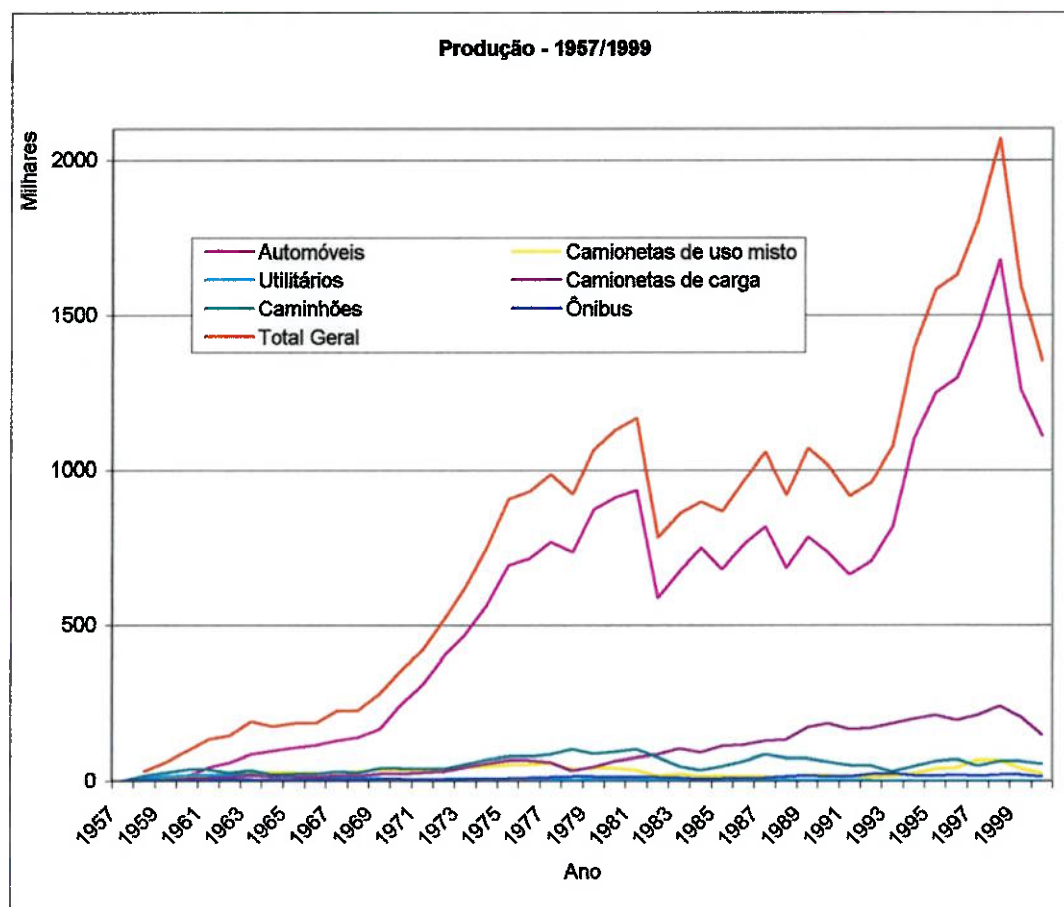


Gráfico 1 Evolução da produção automotiva no Brasil – 1957/1999



Tabela IX Evolução das vendas internas (nacionais e importados) - 1957/1999

Unidades/Units					
Ano	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus	Total
1957	1.172	9.838	18.063	1.904	30.977
1958	3.682	26.527	27.384	3.333	60.926
1959	14.371	41.988	37.211	3.159	96.729
1960	40.980	48.517	38.053	3.949	131.499
1961	60.132	55.326	26.289	3.050	144.797
1962	83.541	67.068	36.194	3.349	190.152
1963	94.619	55.184	21.536	2.420	173.759
1964	103.427	53.680	21.174	2.624	180.905
1965	114.882	47.765	22.451	2.956	188.054
1966	127.865	59.532	30.547	3.632	221.576
1967	139.211	55.304	27.609	4.788	226.912
1968	164.341	66.814	40.458	7.002	278.615
1969	241.542	62.891	39.433	5.627	349.493
1970	308.024	66.390	38.167	4.123	416.704
1971	395.266	72.378	37.643	4.336	509.623
1972	457.124	89.732	50.342	4.222	601.420
1973	557.692	106.318	64.818	6.400	735.228
1974	639.668	116.825	71.433	7.167	835.093
1975	661.332	118.314	69.901	8.931	858.478
1976	695.207	114.971	74.971	10.986	896.135
1977	678.824	71.861	90.247	12.038	852.970
1978	797.942	83.668	78.891	11.861	972.362
1979	828.733	95.957	78.706	11.529	1.014.925
1980	793.028	93.768	81.933	11.532	980.261
1981	447.608	68.000	55.938	9.179	580.725
1982	556.229	85.763	41.257	8.045	691.294
1983	608.499	78.085	34.573	6.575	727.732
1984	532.235	95.966	42.884	5.997	677.082
1985	602.069	98.306	55.664	7.141	763.180
1986	672.384	114.002	71.854	8.488	866.728
1987	410.260	103.372	56.385	10.068	580.085
1988	556.744	123.092	54.912	12.968	747.716
1989	566.582	137.380	48.178	9.485	761.625
1990	532.906	128.431	41.313	10.091	712.741
1991	597.892	134.552	41.464	16.865	790.773
1992	596.964	127.687	25.659	13.706	764.016
1993	903.828	177.558	38.383	11.396	1.131.165
1994	1.127.673	202.786	52.349	12.595	1.395.403
1995	1.407.073	245.205	58.734	17.368	1.728.380
1996	1.405.547	267.592	42.134	15.518	1.730.791
1997	1.569.698	303.871	54.931	14.862	1.943.362
1998	1.211.807	253.797	52.768	15.761	1.534.133
1999	1.010.390	180.631	50.665	10.679	1.252.365

Fontes: Abeiva, Anfavea.

Nota: Nesta tabela, consideram-se as vendas de importados a partir de 1990.

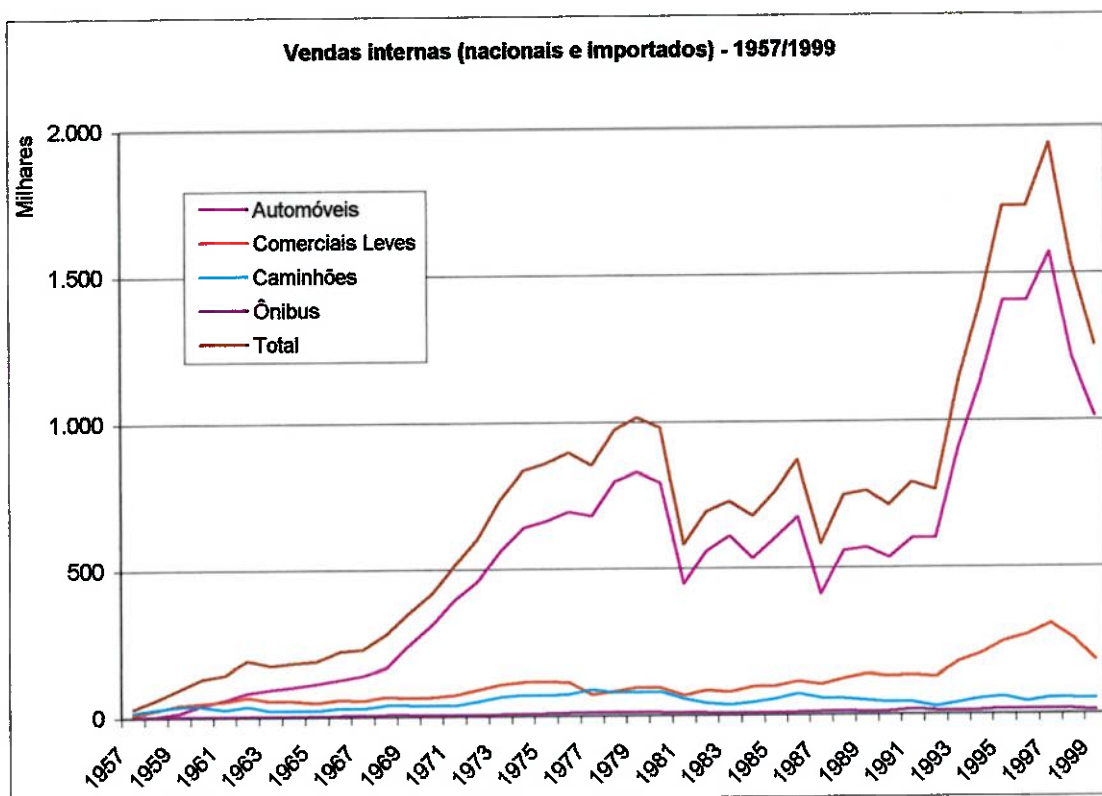


Gráfico 2 Evolução das vendas internas (nacionais e importados) - 1957/1999

Tabela X Frota mundial de veículos - 1989/1998

País	Mil unidades									
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Estados Unidos	187.261	188.655	188.372	190.362	194.063	198.045	201.500	206.365	207.754	209.750
Japão	55.093	57.698	59.915	61.658	63.263	65.011	66.854	68.801	70.003	70.815
Alemanha	32.067	32.684	38.504	40.251	42.044	42.878	43.561	44.167	44.501	44.979
Itália	28.578	29.910	31.033	32.114	32.327	32.578	32.807	33.515	33.995	34.596
França	27.758	28.460	28.827	29.054	29.450	30.040	30.295	30.755	31.267	32.310
Reino Unido	25.673	26.302	26.429	26.652	27.006	27.437	27.942	28.486	29.635	30.406
CEI	22.075	24.002	24.500	26.000	23.405	23.405	23.495	23.565	25.255	25.645
Espanha	13.737	14.442	15.152	15.876	16.300	16.687	17.284	17.954	18.657	19.612
BRASIL	12.758	12.916	13.145	13.337	13.888	14.681	15.770	16.815	17.635	18.302
Canadá	16.270	16.553	15.980	16.194	16.336	16.588	16.668	16.815	17.078	17.464
México	9.015	9.882	10.399	11.351	11.854	12.000	12.150	12.230	12.500	13.724
China	5.264	5.836	6.114	7.015	8.176	9.420	10.400	11.450	11.818	13.190
Austrália	9.489	9.776	9.649	9.954	10.553	10.835	11.207	10.750	11.157	11.765
Coreia do Sul	2.660	3.395	4.248	5.231	6.274	7.404	8.469	9.553	10.413	10.470
Holanda	5.616	5.756	5.801	5.914	6.063	6.211	6.290	6.420	6.505	6.639
Argentina	5.812	5.877	5.959	6.457	6.520	5.666	5.903	6.071	6.281	6.544
África do Sul	4.956	5.092	5.221	5.273	5.495	5.700	5.990	6.280	6.040	5.783
Bélgica	4.119	4.277	4.391	4.505	4.584	4.673	4.755	4.838	4.891	5.001
Áustria	3.596	3.692	3.812	3.977	4.114	4.240	4.368	4.478	4.145	4.262
Suécia	3.887	3.925	3.943	3.906	3.882	3.912	3.953	3.981	4.039	4.145
Outros	81.247	93.852	93.913	98.449	91.490	91.666	97.098	107.969	122.340	112.391
<b>TOTAL</b>	<b>556.931</b>	<b>582.982</b>	<b>595.307</b>	<b>613.530</b>	<b>617.087</b>	<b>629.077</b>	<b>646.759</b>	<b>671.258</b>	<b>695.909</b>	<b>697.793</b>

Fontes: AAMA, Anfavea, Anfia, SMMT.

Notas: 1. Os dados do Brasil são estimados.

2. Os dados sobre a Alemanha até 1990 se referem à Alemanha Ocidental. A partir de 1991, à Alemanha reunificada.

3. Os dados sobre a CEI são a partir de 1991. Antes se referem à URSS.



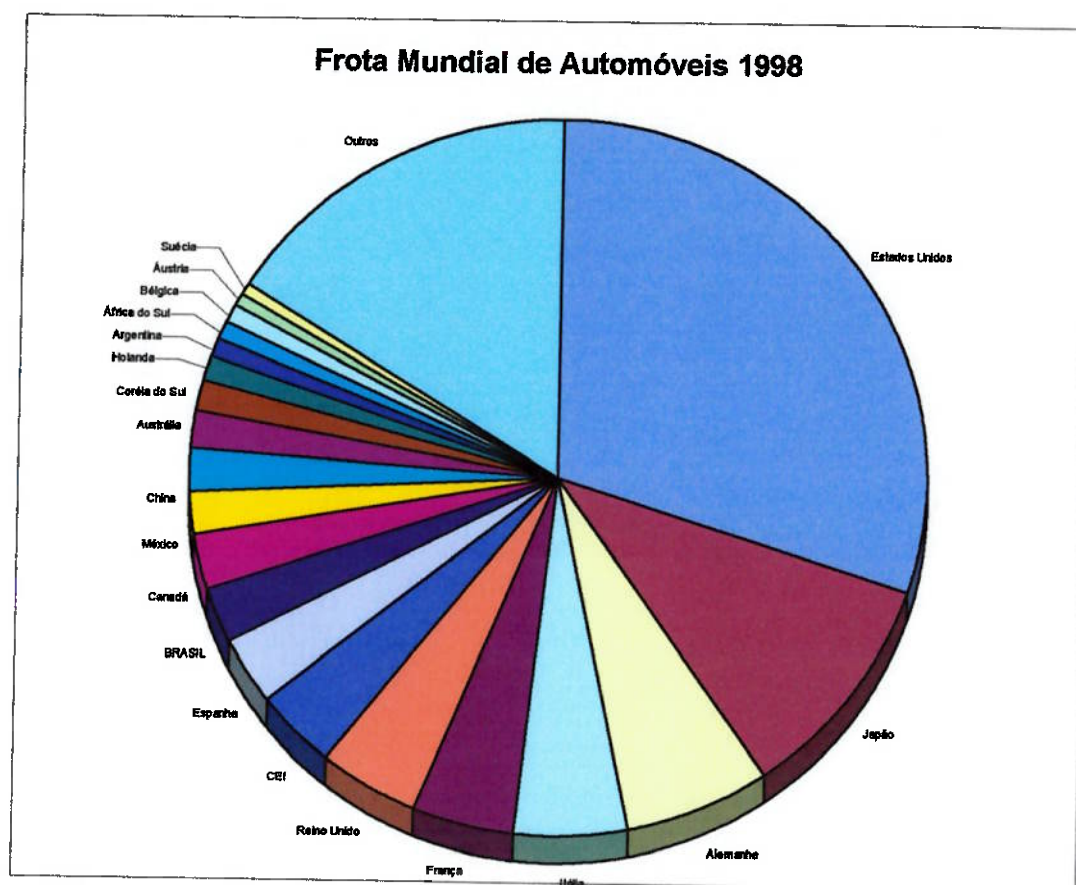


Gráfico 3 Distribuição da frota mundial (1998)

Tabela XI Produção mundial de veículos - 1990/1999

País	Mil unidades									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Estados Unidos	9.737	8.826	9.726	10.876	12.254	12.065	11.859	12.158	12.003	13.025
Japão	13.487	13.245	12.499	11.228	10.554	10.196	10.347	10.975	10.050	9.985
Alemanha	4.977	5.034	5.194	4.032	4.356	4.667	4.843	5.023	5.727	5.688
França	3.769	3.611	3.768	3.156	3.558	3.475	2.391	2.580	2.954	3.180
Espanha	2.053	2.082	2.122	1.768	2.142	2.334	2.412	2.562	2.826	2.852
Coreia do Sul	1.322	1.498	1.730	2.050	2.312	2.526	2.813	2.818	1.954	2.843
Canadá	1.921	1.888	1.961	2.248	2.321	2.420	2.397	2.257	2.173	2.735
Reino Unido	1.566	1.454	1.540	1.569	1.695	1.765	1.920	1.936	1.976	1.973
China	536	668	970	1.162	1.351	1.435	1.470	1.580	1.628	1.804
Itália	2.121	1.878	1.686	1.277	1.534	1.667	1.545	1.828	1.693	1.701
México	821	989	1.081	1.097	1.123	937	1.226	1.360	1.453	1.518
BRASIL	914	960	1.074	1.391	1.581	1.629	1.804	2.070	1.586	1.351
CEI	1.917	1.829	1.770	1.646	1.128	1.106	1.062	1.224	1.093	1.249
Índia	364	355	324	372	475	573	686	596	513	728
Suécia	410	345	357	337	435	490	463	480	483	489
Rep. Tcheca	238	198	217	229	180	216	272	367	410	376
Taiwan	349	382	413	395	423	406	366	381	405	350
Austrália	380	291	282	302	336	332	325	349	384	311
Argentina	100	139	262	342	409	285	313	446	458	305
Bélgica	402	355	312	416	480	468	438	431	406	291
Outros	1.127	913	959	1.158	883	1.144	1.162	1.696	1.757	1.915
TOTAL	48.511	46.940	48.247	47.051	49.530	50.136	50.114	53.117	51.932	54.669

Fontes: Anfavea, CCFA, Oica, Wards Communications.

Notas:

1. Os dados de 1990 a 1998 foram revisados.

2. De acordo com a CCFA, a produção da França a partir de 1996 se refere apenas aos autoveículos fabricados no país; antes, a informação dizia respeito também à produção de empresas francesas em outros países.



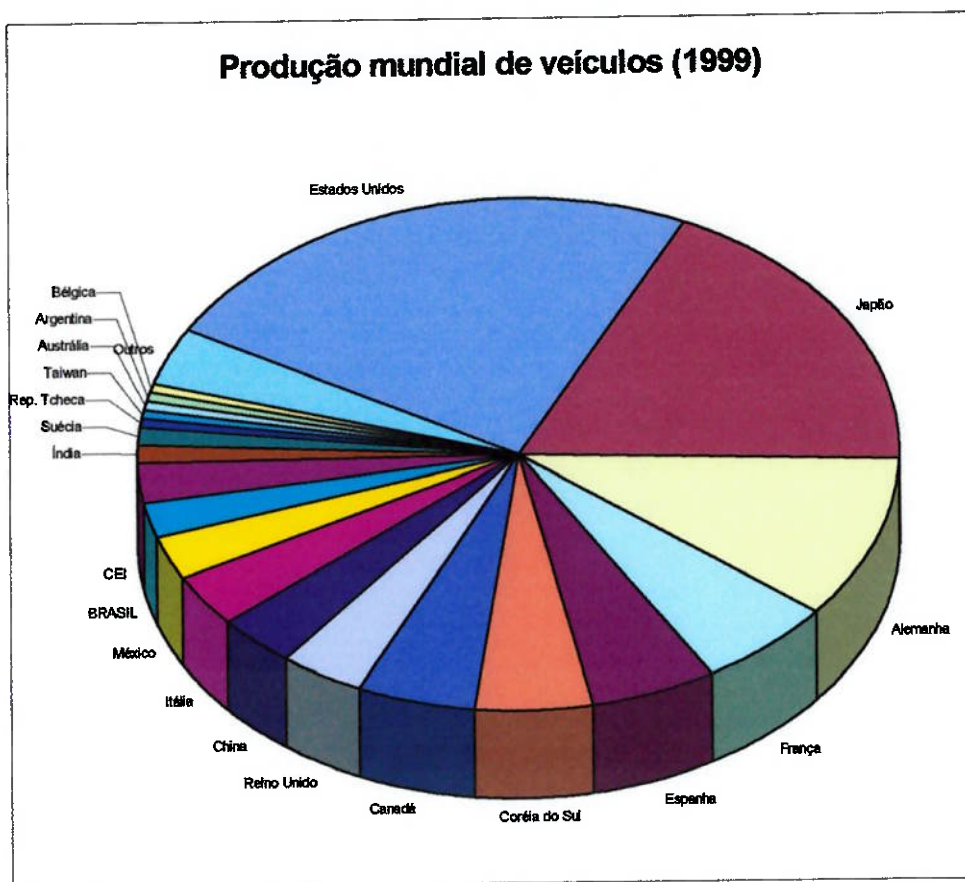


Gráfico 4 Distribuição da produção mundial de veículos (1999)

### 5.3.2 Mercado de autopeças

Somente no Brasil o mercado de filtros de ar já pode ser estimado em 8.500.000 unidades por ano. Não existe nenhuma entidade certificadora desse tipo de produto no Brasil.

Não existe portanto nenhuma maneira de se garantir que o filtro atenda as exigências dos fabricantes. As montadoras têm seus próprios laboratórios que certificam fornecedores e os qualificam para seus veículos porém não há uma entidade independente que verifique se a produção para o mercado de reposição esta de acordo com o especificado.

Os filtros têm muitas vezes o papel filtrante certificado pelo seu fabricante porém durante a fabricação pode haver algum erro na montagem e a quantidade de papel ser menor que a especificada.

Existe portanto um mercado em potencial para a prestação desse tipo de serviço que possa garantir a qualidade desse tipo de produto.

## 6 REVISÃO DA LITERATURA

A seguir apresentam-se um resumo de algumas normas encontradas que definem ensaios de filtros de ar. São citadas somente algumas características consideradas relevantes na norma ou para efeito de comparação. As normas que possuam a metodologia selecionada serão esmiuçadas em detalhes enquanto as que apresentam metodologia diferente terão citadas apenas algumas de suas características que as tornam diferentes e algumas características observadas para avaliação.

As figuras extraídas das normas são utilizadas somente para ilustração do trabalho e para melhor entendimento dos procedimentos, comparações e recomendações encontradas.

Como informação preliminar, pode-se destacar que dentre as normas notam-se dois modos de aferição da eficiência do filtro de ar: um denominado método de pesagem e outro denominado método ótico. Cada método será descrito com seus detalhes relativos dentro de sua respectiva norma. De forma geral tem-se o seguinte:

- Método de Pesagem: caracteriza-se pela pesagem do filtro antes e depois do ensaio para se verificar a quantidade de pó capturado. Pesa-se ainda a quantidade total de pó antes do ensaio e a quantidade de pó após o ensaio. Antes do ensaio normalmente pesa-se a quantidade de pó a ser utilizada no experimento e após o ensaio pesa-se a quantidade de pó restante no chamado alimentador de pó (dust feeder) e o encontrado ao longo da bancada, a montante, jusante do filtro ensaiado visando determinar sua eficiência, capacidade de carga, entre outros.
- Método Ótico: caracteriza-se pela aferição da eficiência do filtro de ar pela opacidade do filtro medida por fotosensores. A opacidade de corpos de prova posicionados a montante e a jusante do filtro e sua posterior comparação fornecem, em escala apropriada sua eficiência.
- Método Misto: caracteriza-se pela utilização dos dois métodos chamando cada dado obtido por um nome. Cada norma define diversos índices de performance do filtro.

Eficiência, capacidade de carga, teste de colapso, e etc, definem características específicas e importantes que devem ser medidas em cada filtro. Em algumas dessas normas há a definição do teste de eficiência por método ótico e alguma outra característica sendo determinada por pesagem. Por definição as normas que utilizam o método ótico e mais alguma forma de pesagem serão categorizadas como método misto. Na prática não se encontram métodos óticos e sim somente métodos mistos.

Na apresentação e análise das normas apresenta-se um breve comentário ou algo mais pertinente sobre a mesma logo após a descrição do seu título e antes da apresentação dos seus procedimentos.

Nas normas que definem procedimentos de ensaio, a formatação e a divisão de tópicos foi baseada na encontrada na norma ISO 5011 e padronizada dessa forma para facilitar a comparação entre as mesmas.

Há ainda um método de teste que utiliza DOP e não se encaixa em nenhum dos três anteriormente citados. Esse método é para teste de um outro tipo de filtro e suas implicações serão discutidas posteriormente.

## **6.1 NBR 6401 (antiga NB 10)**

Apresentada como: *NBR 6410 Instalações centrais de ar condicionado para conforto: Parâmetros básicos de projeto*, datada de 1978.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT apresenta essa norma como base fundamental para projeto de instalações de ar condicionado. A norma apresenta várias recomendações quanto à instalação com as condições a serem estabelecidas para os recintos.

Essa foi a norma encontrada que citava de alguma forma classificações e alguns parâmetros de avaliação de filtros de ar no Brasil. Durante a elaboração do trabalho houve o convite e a participação de um grupo de trabalho conjunto entre colaboradores de trabalho, pessoal do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e representantes de fabricantes de aviões, filtros e de companhias aéreas para a elaboração de uma norma para filtros de ar para ar condicionado de aviões. Foi realizada uma reunião preliminar em São José dos Campos (SP) e após essa marcada uma nova em São Paulo (SP) porém posteriormente cancelada. Até a confecção final do presente trabalho, seus resultados permanecem inconclusos.

A seguir são apresentadas as classificações dos filtros com suas respectivas recomendações de utilização como apresentada pela norma.

### **6.1.1 Classificação dos filtros**

Os filtros são divididos em três classes:

- Grossos (prefixo G)
- Finos (prefixo F)
- Absolutos (prefixo A)

As eficiências indicadas são as registradas segundo as seguintes normas:

- Para filtros grossos: teste gravimétrico conforme AFI I do American Filter Institute ou ASHRAE 52-68.
- Para filtros finos: teste calorimétrico conforme AFI – Dust Spot do American Filter Institute ou ASHRAE 52-68.
- Para filtros absolutos: teste fotométrico “DOP TEST” ou conforme U.S. Military Standard MIL STD 282 ou de chama de sódio, British Standard BS 3928.

Tabela XII Classificação dos filtros NBR 6401

Classe de Filtro	Eficiência (%)	Características	Aplicações Principais
G0	30 - 69	Boa eficiência contra insetos e relativa contra poeira grossa. Eficiência reduzida contra pólen de plantas e quase nula contra poeira atmosférica.	Condicionadores tipo janela.
G1	60 - 74	Boa eficiência contra poeira grossa e relativa eficiência contra pólen de plantas. Eficiência reduzida contra poeira atmosférica.	Condicionadores tipo compacto ("self contained").
G2	75 - 84	Alta eficiência contra poeira grossa. Boa eficiência contra pólen de plantas e relativa contra a fração grossa (75 micron) da poeira atmosférica.	Condicionadores de sistemas centrais.
G3	85 e acima	Boa eficiência contra a fração grossa (> 5 micron) da poeira atmosférica.	Condicionadores dos sistemas centrais pré-filtragem para filtros finos F2 e F3.
F1	40 - 69	Eficiência satisfatória contra a fração fina (1 - 5 micron) da poeira atmosférica. Pouca eficiência contra fumaças de óleo e tabaco.	Condicionadores de sistemas centrais para exigências altas. Pré-filtragem para filtros finos F3.
F2	70 - 89	Boa eficiência contra a fração fina (1 - 5 micron) da poeira atmosférica. Alguma eficiência contra fumaças de óleo e tabaco.	Condicionadores de sistemas centrais para exigências altas. Pré-filtragem para filtros absolutos
F3	90 e acima	Alta eficiência contra a fração fina (1 - 5 micron) da poeira atmosférica. Eficiência satisfatória contra fumaças de óleo e tabaco. Razoavelmente eficiente contra bactérias e fungos microscópicos.	Pré-filtro para filtros absolutos. Precisa pré-filtragem, por sua vez.
A1	85 - 97,9	Boa eficiência contra a fração ultrafina (<1 micron) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias e fungos microscópicos.	Salas com controle de teor de poeira. Precisa pré-filtragem.
A2	98 - 99,96	Alta eficiência contra a fração ultrafina (<1 micron) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias e fungos microscópicos.	Salas com controle de teor de poeira, zonas assépticas de hospitais (exigências altas). Precisa pré-filtragem.
A3	99,97 e acima	Eficiência excelente contra a fração fina (1 - 5 micron) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias, fungos microscópicos e vírus.	Salas limpas das classes 100, 10000 e 100000. Salas e cabinas estéreis para operações cirúrgicas e ortopédicas (exigências particularmente altas). Todas as instalações que requerem teste de estanqueidade (leak test). Precisa pré-filtragem.

## 6.2 ISO 5011

Apresentada como: *ISO 5011 First edition 1988-12-15 Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors – Performance testing.*

A Organização Internacional para a Normalização (ISO – International Organization for Standardization) determina essa norma para os testes de filtros de ar para motores de combustão interna e compressores.

A seguir é descrito os procedimentos e a análise da norma referente aos filtros de ar automotivos e do tipo seco. Nota-se que o método utilizado é o de pesagem e a norma especifica parâmetros gerais para a construção da bancada. Essa é uma das normas em que será dado maior detalhamento devido ao método de avaliação do filtro de ar.

### 6.2.1 Escopo e campo de aplicação

Filtros de ar utilizados em motores de combustão interna e compressores. A norma é dividida em duas seções sendo uma com definições para procedimento de ensaio de filtros de ar automotivos e a seguinte para ensaio de filtros de ar industriais.

### 6.2.2 Incerteza permitida nas medições

A seguir apresentam-se listadas a precisão em cada uma das medidas como definidas na norma. A precisão especificada na norma é interessante para se verificar a viabilidade tanto financeira quanto técnica da realização do ensaio.

- Variação da medida da vazão de ar entre  $\pm 2\%$  do valor real no ensaio com vazão constante. No ensaio com vazão variável a variação da medição pode ser de no máximo  $\pm 2\%$  do valor máximo da vazão no ciclo através do filtro.
- Medida da queda de pressão e restrição entre 25 Pa (0,25 mbar) do valor real.
- Medida queda de temperatura dentro de  $0,5^{\circ}\text{C}$  do valor real.
- Medida da massa dentro de 1% do valor real exceto onde observado.



- Medida da umidade relativa com a precisão de  $\pm 2\%$  R.H.
- Medida da pressão barométrica dentro de 300 Pa (3 mbar).

A norma enfatiza que o equipamento de medição deve ser calibrado em intervalos regulares para garantir a precisão requerida.

### **6.2.3 Características de interesse**

A seguir apresentam-se as características de interesse no estudo dos filtros de ar.

- Restrição ao fluxo de ar ou queda de pressão.
- Eficiência no recolhimento de pó.
- Capacidade de retenção de pó, quantidade de pó possível de ser retido.
- Integridade estrutural do filtro.

### **6.2.4 Características testadas**

As características de interesse através dos seguintes ensaios:

- Teste de restrição e queda de pressão: para determinar a queda de pressão através da unidade de teste resultante da passagem do ar sob determinadas condições.
- Teste de eficiência: para determinar as capacidades de retenção da unidade sob teste.
- Teste de capacidade: para determinar a massa total ganha pela unidade ensaiada nas condições terminais. As condições terminais são aquelas determinadas em comum acordo com o fabricante tal como a queda de pressão máxima admissível.
- Teste de pressão de colapso do elemento filtrante: para determinar a habilidade de um filtro resistir a uma pressão diferencial especificada e/ou determinar a pressão diferencial no qual o colapso ocorre.

Teste de fluxo de ar variável: pode ser utilizado como opção ao teste a fluxo constante.

## 6.2.5 Material de ensaio

### 6.2.5.1 Pó de ensaio

A norma define que o pó de ensaio deve ser rotulado de duas maneiras fino (fine) e grosso (coarse). A composição típica do pó de teste é apresentada na Tabela XIII:

Tabela XIII Análise química do pó de teste – ISO 5011

Química	Porcentagem da Massa
SiO <sub>2</sub>	67 a 69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 a 5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15 a 17
CaO	2 a 4
MgO	0,5 a 1,5
Base alcalina total	3 a 5
Materiais voláteis	2 a 3

Na Tabela XIV têm-se a distribuição pela massa como medido por um Roller Particle Size Analyzer. O dispositivo verifica o tamanho da partícula através da vazão e da lei de Stokes.

Tabela XIV Distribuição do tamanho das partículas (Roller Analyzer) – ISO 5011

Tamanho $\mu\text{m}$	Classificação Fina %	Classificação Grossa %
0 a 5	39 $\pm$ 2	12 $\pm$ 2
5 a 10	18 $\pm$ 3	12 $\pm$ 3
10 a 20	16 $\pm$ 3	12 $\pm$ 3
20 a 40	18 $\pm$ 3	14 $\pm$ 3
40 a 80	9 $\pm$ 3	30 $\pm$ 3
80 a 200	-	9 $\pm$ 3

Na Tabela XV tem-se a distribuição pela massa como medido pelo método Andreason.

Tabela XV Distribuição do tamanho da partícula (método Andreason) – ISO 5011

Tamanho $\mu\text{m}$	Classificação Fina %	Classificação Grossa %
< 125	-	98,5 $\pm$ 1,5
< 75	98 $\pm$ 2	84,5 $\pm$ 5,5
< 40	84 $\pm$ 3	51 $\pm$ 2
< 20	67 $\pm$ 3	32 $\pm$ 2
< 10	49 $\pm$ 3	19,5 $\pm$ 1,5
< 5	35 $\pm$ 3	10 $\pm$ 1
< 2	17,5 $\pm$ 2,5	-

A preparação do material é descrita na norma com relação a quantidade para o ensaio e temperatura de armazenagem pré-ensaio.

#### **6.2.5.1.1 Preparação**

Antes de se utilizar o pó de teste, uma quantidade suficiente para cobrir os requerimentos de teste deve ser misturada por no mínimo 15 minutos num recipiente selado.

O pó de teste deve ser então seco até que atinja um estado de uma massa constante a uma temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ . O pó teste deve então deve ser climatizado até chegar a um estado de massa constante sob as condições de teste.

A quantidade a ser utilizada é determinada posteriormente.

#### **6.2.5.2 Material do filtro absoluto**

A seguir apresentam-se as características necessárias ao filtro absoluto a ser utilizado no ensaio. O filtro absoluto é utilizado a jusante do filtro ensaiado para se verificar a eficiência do dispositivo de ensaio na retenção do material particulado. A norma especifica o filtro como sendo de fibra de vidro com as seguintes dimensões:

- Espessura mínima: 12,7 mm.
- Densidade mínima:  $9,5 \text{ kg/m}^3$ .
- Diâmetro das fibras entre 0,76 e  $1,27 \mu\text{m}$ .
- Absorção de umidade menor do 1% do peso depois da exposição a  $49^\circ\text{C}$  e 96% de umidade relativa por 96h.

A velocidade na face não deve ultrapassar  $\approx 0,8 \text{ m/s}$  para se manter a integridade do meio. Para se reduzir erros nas medidas causadas por perdas de fibras ou materiais, o filtro absoluto deve ser sujeito a um fluxo de ar ambiente de pelo menos 110% do fluxo de ar especificado por 15 min antes de ser testado por peso.

### 6.2.5.3 Peso do filtro absoluto

O peso do filtro absoluto deve ser medido com 0,01g de precisão depois de estabilizado num forno ventilado a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ .

### 6.2.5.4 Temperatura e umidade

Todos os testes devem ser conduzidos com ar entrando no filtro de ar a uma temperatura de  $23 \pm 5^\circ\text{C}$  e a uma umidade relativa de  $55 \pm 15\%$  e variação permitida de 2% na umidade relativa em cada estágio de pesagem.

### 6.2.6 Validação do sistema de alimentação de pó

O sistema de alimentação de pó deve ser validado como se segue:

- Carregue o sistema de alimentação de pó com uma quantidade de pó de teste previamente pesado.
- Simultaneamente inicie o sistema de alimentação de pó e o timer.
- A cada intervalo de 5 minutos, determine a massa de pó liberada. Continue a determinação de incrementos de pó por 30 minutos.
- Ajuste o alimentador de pó até que a taxa de liberação esta dentro de 5% da taxa desejada e que o desvio na taxa de liberação não seja maior do que 5%.

### 6.2.7 Validação da eficiência dos filtros absolutos

Colocar dois filtros absolutos um atrás do outro e executar o teste de eficiência do filtro e determinar o aumento de massa de cada um dos filtros de acordo com os procedimentos da norma.

Eficiência do filtro absoluto:

$$Eficiência = \frac{A}{A+B} \times 100\%$$

Onde:

- A é o incremento de massa do filtro absoluto que fica a frente
- B é o incremento de massa do filtro absoluto que fica atrás

A eficiência do filtro absoluto deve ser de no mínimo 99% para o contaminante presente no mesmo.

### **6.2.8 Procedimentos para teste do filtro de ar automotivo**

A seguir apresenta-se uma breve descrição dos procedimentos de teste de filtros de ar. Deve-se ressaltar que os procedimentos descritos aqui são somente para efeito de comparação e para a utilização deve-se consultar a norma em sua integridade.

#### **6.2.8.1 Preparação do material**

Para a preparação do material de ensaio, baseado no fluxo de teste deve-se calcular a taxa de alimentação do pó de teste usando uma concentração de pó de  $1,0 \text{ g/m}^3$  de ar e em casos especiais (por exemplo: filtros pequenos)  $0,25$  e  $0,5 \text{ g/m}^3$  podem ser aceitos.

#### **6.2.8.2 Teste de restrição e queda de pressão**

O propósito do teste, como citado anteriormente, é determinar a restrição/ queda de pressão/ perda de pressão através da unidade em teste resultante quando o ar passa através do filtro sob determinadas condições.

A restrição ou queda de pressão é medida com um elemento (ou elementos) filtrante limpo com cinco fluxos de ar igualmente espaçados entre 50% e 150% da taxa do fluxo de ar. Os dados serão apresentados na forma de uma curva. Os passos resumidamente serão os seguintes:

- A unidade a ser medida será condicionada como definida na norma.
- A montagem do teste deverá ser feita como os mostrados na figuras de montagem de teste de restrição e queda de pressão.

- Registra-se a restrição e queda de pressão versus taxa do fluxo de ar à aproximadamente 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da taxa de fluxo de ar.
- Registram-se as condições do teste.
- Corrigem-se as restrições e quedas de pressão de acordo com as condições padrão.
- Determina-se a queda de pressão.
- Desenha-se o gráfico com os resultados.

### **6.2.8.3 Teste de eficiência**

O propósito do teste é determinar as capacidades de retenção da unidade. Três tipos de teste podem ser realizados:

- a) Eficiência de fim de vida: determinada quando condições terminais, queda de pressão terminal por exemplo, é atingida.
- b) Eficiência incremental: determinada quando, por exemplo, 10%, 25% e 50% da pressão terminal menos a pressão inicial é atingida.
- c) Eficiência inicial determinada depois da adição de 20g de contaminantes ou um número de gramas numericamente equivalente a 6 vezes o fluxo de ar em metros cúbicos por minuto, qual for o maior.

#### **6.2.8.3.1 Procedimento de Teste – Método do filtro absoluto**

A seguir resumidamente apresenta-se o procedimento de ensaio:

- Baseado no fluxo de ar calcula-se a taxa de alimentação do pó usando-se como referência uma concentração de  $1,0\text{g/m}^3$  de ar; em casos especiais (por exemplo filtros pequenos)  $0,25$  e  $0,5\text{g/m}^3$  podem ser permitidos.
- Condiciona-se a unidade.
- Pesa-se o filtro absoluto com a massa estabilizada.

- 
- Monta-se a bancada como mostrado nos esquemas.
  - Registram-se as condições do teste (temperatura e umidade relativa).
  - Prepara-se o pó de teste especificado e pesa-se uma quantidade requerida para teste. Para teste de eficiência de fim de vida, a quantidade deve ser aproximadamente 125% da capacidade estimada da unidade sob teste. Registra-se a massa do container e do pó com uma precisão de 0,1g.
  - Inicia-se o fluxo de ar através da bancada de teste e estabiliza-se a vazão. Registra-se a queda de pressão.
  - Carrega-se o alimentador de pó e ajusta-se a taxa de alimentação de pó para injetar pó na concentração calculada. Realmente o alimentador de pó com o pó preparado no container quando necessário.
  - Em intervalos pré-determinados (um mínimo de 5 pontos é recomendado), registre a queda de pressão e o tempo decorrido.
  - Continue o teste até que uma condição terminal seja atingida.
  - Registre a temperatura e umidade relativa.
  - O pó nas superfícies exteriores da montagem do filtro ou qualquer um depositado na câmara de teste/tubulação à montante de elemento de teste deve ser recolhido cuidadosamente e transferido para o container junto com qualquer pó remanescente no alimentador de pó.
  - Pese novamente o container e subtraia o resultado da massa registrada no início do teste. A diferença será a massa fornecida para a unidade sob teste.
  - Remova cuidadosamente a unidade sob teste sem perder nenhum pó. Observe qualquer sinal de vazamento ou condições não usuais. Pese em gramas dentro de 1% do valor real. O aumento da massa da unidade sob teste é a massa menos a massa

determinada no início do teste. No teste de eficiência de fim de vida, esse aumento na massa é a capacidade da unidade sob teste.

- Recolha qualquer pó observado na face jusante da unidade sob teste até o filtro absoluto. Remova cuidadosamente o filtro absoluto. Pese o filtro absoluto e determine a diferença na massa. Esse é o aumento da massa do filtro absoluto.
- Calcule o balanço de massas do pó de teste. Esse deve estar na faixa de 0,98 a 1,02 para o teste ser considerado válido.

$$\left( \text{Balanço de material do pó de teste} \right) = \frac{\left( \text{Aumento da massa no filtro absoluto} \right) + \left( \text{Aumento da massa na unidade sob teste} \right)}{\text{Massa total de pó fornecido}}$$

- Calcule a eficiência através do seguinte método:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Aumento da massa na unidade sob teste}}{\left( \text{Aumento da massa na unidade sob teste} \right) + \left( \text{Aumento da massa no filtro absoluto} \right)} \times 100\%$$

#### 6.2.8.3.2 Procedimento de Teste – Método da pesagem direta

Onde um dispositivo de pesagem adequado esta disponível pode-se utilizar um método de pesagem direta para se determinar a performance da unidade sob teste. Calcule a eficiência como se segue:

$$\text{Eficiência} = \frac{\left( \text{Aumento da massa da unidade sob teste} \right)}{\text{Massa total de pó fornecido}} \times 100\%$$

#### 6.2.8.4 Teste de capacidade

O propósito do teste é determinar a massa total ganha pela unidade sob teste nas condições terminais. A seguir apresentam-se resumidamente os procedimentos de teste:



- Condicione a unidade sob teste. Realize o teste como definido no Método do Filtro Absoluto ou no Método da Pesagem Direta.
- Assumindo uma relação constante entre o tempo decorrido versus o pó fornecido para a unidade de teste, registre os dados e desenhe a curva da restrição versus o ganho de massa. Use a seguinte fórmula para determinar o valor do ganho de massa:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Aumento de massa} \\ \text{no final de cada} \\ \text{intervalo de tempo} \end{array} \right) = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{Tempo total até o} \\ \text{final do intervalo} \end{array} \right)}{\left( \begin{array}{c} \text{Tempo total até o} \\ \text{final do teste} \end{array} \right)} \times \left( \begin{array}{c} \text{Aumento total} \\ \text{na massa da} \\ \text{unidade sob teste} \end{array} \right)$$

#### 6.2.8.5 Teste de pressão de colapso do elemento filtrante

O propósito desse teste é determinar a habilidade de um elemento filtrante suportar uma pressão diferencial especificada e/ou determinar a pressão diferencial no qual o colapso ocorre.

- Arranje a bancada de modo a realizar o teste de capacidade. O elemento utilizado no teste de capacidade ou de eficiência anterior ou um elemento novo pode ser utilizado para esse teste.
- Aumente a fluxo de ar através da bancada se necessário, forneça pó a uma taxa conveniente até que uma queda de pressão especificada seja atingida ou até que o colapso do elemento seja indicado por uma diminuição na queda de pressão ou um aumento no fluxo de ar.
- Registre a pressão máxima obtida, razão para término do teste e condição do elemento após o teste.

#### 6.2.8.6 Teste com vazão variável

Como uma opção ao teste com uma vazão constante, um teste com vazão variável pode ser executado utilizando-se um ciclo padronizado.

As determinações de queda de pressão devem ser feitas a máxima vazão.

### 6.2.9 Equipamentos de teste

Típicos arranjos de equipamentos são mostrados nas figuras seguintes:

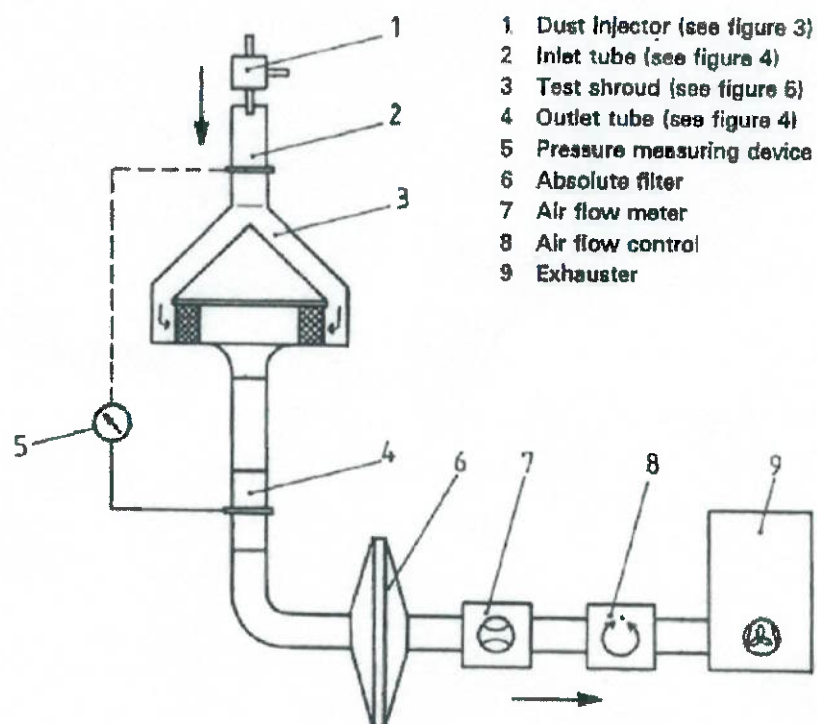
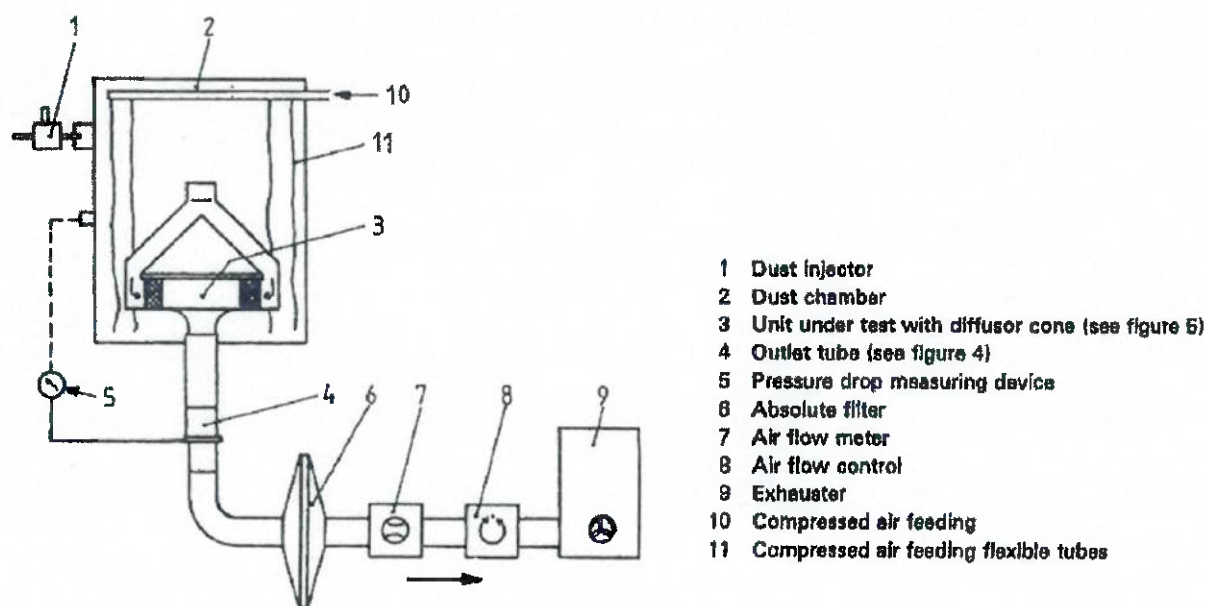


Figura 7 Configuração para teste de eficiência/capacidade- ISO 5011.

Na Figura 7 observam-se os seguintes itens indicados:

1. Injetor de pó
2. Tubulação de entrada
3. Cobertura de teste
4. Tubulação de saída
5. Medidor de pressão
6. Filtro absoluto
7. Medidor de vazão
8. Controle de vazão
9. Exaustor



NOTE — In this figure a single air cleaner element is installed.

Figura 8 Configuração para teste de eficiência/capacidade com câmara de pó – ISO 5011.

Na Figura 8 aparecem indicados os seguintes elementos:

1. Injetor de pó
2. Câmara de pó
3. Unidade em teste com cone difusor
4. Tubulação de saída
5. Medidor de pressão
6. Filtro absoluto
7. Medidor de vazão
8. Controle de vazão
9. Exaustor
10. Fornecimento de ar comprimido
11. Tubos flexíveis para o ar comprimido

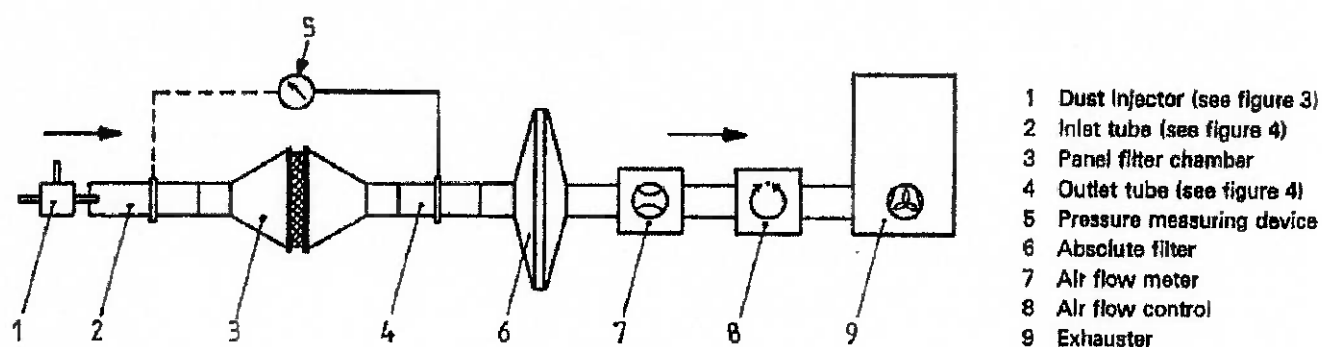


Figura 9 Configuração para teste de eficiência/capacidade de elemento filtrante painel – ISO 5011

Na Figura 9 aparecem indicados os seguintes elementos:

1. Injetor de pó
2. Tubulação de entrada
3. Câmara de filtro painel
4. Tubulação de saída
5. Medidor de pressão
6. Filtro absoluto
7. Medidor de vazão
8. Controle de vazão
9. Exaustor

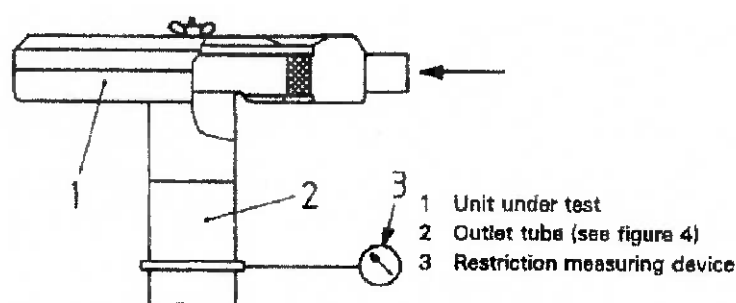


Figura 10 Configuração para teste de restrição de montagem – ISO 5011

Na Figura 10 pode-se observar os seguintes itens indicados:

1. Unidade em teste
2. Tubulação de saída
3. Medidor de restrição (Medidor de pressão)

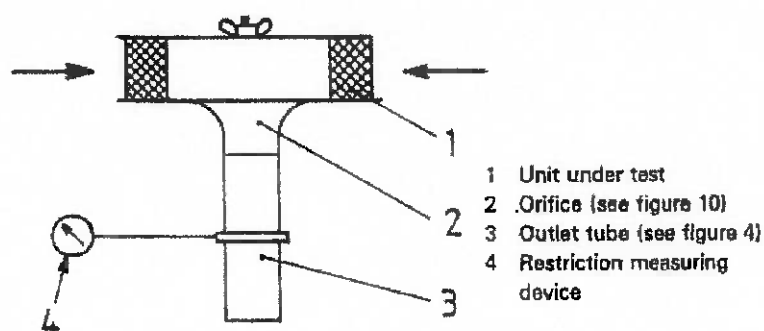


Figura 11 Configuração para teste de restrição – ISO 5011

Na Figura 11 aparecem indicados os seguintes elementos:

1. Elemento em teste
2. Orifício
3. Tubulação de saída
4. Medidor de restrição (Medidor de pressão)

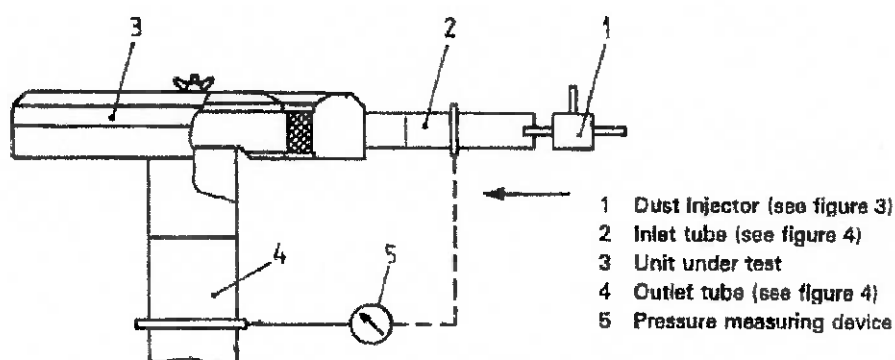


Figura 12 Configuração para teste de eficiência/capacidade de montagem – ISO 5011

Na Figura 12 aparecem indicados os seguintes elementos:

1. Injetor de pó
2. Tubulação de entrada
3. Unidade em teste
4. Tubulação da saída
5. Medidor de pressão

## 6.3 SAE J726 Revised JUN93

Apresentada como: *SAE J726 Revised JUN93 Surface Vehicle Recommend Practice; Air Cleaner Test Code.*

A Sociedade de Engenharia para o Avanço da Mobilidade Terrestre, Marítima, Aérea e Espacial (SAE – Society of Automotive Engineers) recomenda essa norma para o ensaio de filtros de ar para motores de combustão interna.

Na descrição e análise será dada ênfase no procedimento referente a filtros de ar automotivos secos.

### 6.3.1 Escopo

A norma define ensaios a serem realizados em filtros de ar do tipo seco normalmente utilizado em motores de combustão interna automotivos, filtros de ar do tipo seco industriais e pré-filtros para motores de combustão interna móveis e estáticos e filtros de ar com banheira de óleo usados em motores de combustão interna, móveis e estáticos.

### 6.3.2 Incerteza permitida nas medições

A seguir apresentam-se as precisões desejáveis nos instrumentos de medição para realização dos ensaios:

- Medida da vazão entre 2% do valor real
- Medida da queda de pressão e restrição em 0.25 mbar (0.025 kPa) do valor real
- Medida queda de temperatura em 0.5°C do valor real
- Medida do peso em 1% do valor verdadeiro exceto onde observado
- Medida da massa do filtro absoluto em  $\pm 0,01\text{g}$
- Medida da umidade relativa com uma precisão de 2% R.H.

- Medida da pressão barométrica em 3 mbar (0.3 kPa)

A norma enfatiza que todo o equipamento deve ser calibrado a intervalos regulares para se garantir a precisão requerida.

### **6.3.3 Características de interesse**

A norma define claramente as seguintes características como sendo as de maior interesse:

- Restrição à vazão ou queda de pressão
- Eficiência no recolhimento de pó
- Capacidade de pó
- Integridade estrutural do filtro

### **6.3.4 Características testadas**

As características de interesse através dos seguintes ensaios:

- Teste de restrição à vazão e queda de pressão: utilizado para determinar a queda de pressão estática da unidade em teste resultante quando da passagem do ar sob determinada condição.
- Teste de eficiência: determinar as capacidades de retenção da unidade sob teste. Esse teste pode ser conduzido tanto com uma vazão constante ou variável e com contaminantes finos ou grossos. Caso seja desejado o teste pode ser executado concorrentemente com o ensaio de capacidade.
- Teste de capacidade: o propósito desse teste é determinar o peso total ganho pela unidade sob teste quando na queda de pressão terminal. Esse ensaio pode ser conduzido com uma vazão constante ou variável e com pó contaminante fino ou grosso. Caso seja desejado o teste pode ser executado concorrentemente com o ensaio de eficiência.



- Teste de vazão - pressão de colapso: o propósito do teste é determinar a habilidade do elemento filtrante de suportar uma pressão diferencial especificada e/ou a pressão diferencial no qual ocorre o colapso.
- Teste de eficácia da vedação: o propósito do teste é determinar a eficácia da vedação dos elementos do filtro.
- Teste de temperaturas extremas: o propósito do teste é determinar a eficácia do filtro de ar suportar temperaturas extremas.

### 6.3.5 Material de ensaio

#### 6.3.5.1 Pó de ensaio

Os pós contaminantes de teste devem ser padronizados e classificados denominados finos (fine) e grosso (coarse). Segue a típica análise química:

Tabela XVI Análise química do pó de teste – SAE J726

Química	Porcentagem da Massa
SiO <sub>2</sub>	65 a 76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11 a 17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5 a 5,0
Na <sub>2</sub> O	2 a 4
CaO	3 a 6
MgO	0,5 a 1,5
TiO <sub>2</sub>	0,5 a 1,0
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10
ZrO	0,10
BaO	0,10
Materiais voláteis	2 a 4

Na Tabela XVII tem-se a distribuição pelo volume como medido pelo L & N Microtrac Analyzer.

Tabela XVII Distribuição do tamanho da partícula (Microtrac Analyzer) – SAE J726

Tamanho $\mu\text{m}$	Classificação Fina (% menor do que)	Classificação Grossa (% menor do que)
0,5	38 $\pm$ 3	13 $\pm$ 3
11	54 $\pm$ 3	24 $\pm$ 3
22	71 $\pm$ 3	37 $\pm$ 3
44	89 $\pm$ 3	56 $\pm$ 3
88	97 $\pm$ 3	84 $\pm$ 3
176	100	100

Na Tabela XVIII tem-se a distribuição pela massa como medido pelo método Andreason somente para referência.

Tabela XVIII Distribuição do tamanho da partícula (método Andreason) – SAE J726

Tamanho $\mu\text{m}$	Classificação Fina %	Classificação Grossa %
< 125	-	98,5 $\pm$ 1,5
< 75	98 $\pm$ 2	84,5 $\pm$ 5,5
< 40	84 $\pm$ 3	51 $\pm$ 2
< 20	67 $\pm$ 3	32 $\pm$ 2
< 10	49 $\pm$ 3	19,5 $\pm$ 1,5
< 5	35 $\pm$ 3	10 $\pm$ 1
< 2	17,5 $\pm$ 2,5	-

Na Tabela XIX tem-se a distribuição pela massa como medido por um Roller Analyzer somente para referência.

Tabela XIX Distribuição do tamanho da partícula (Roller Analyzer) – SAE J726

Tamanho $\mu\text{m}$	Classificação Fina %	Classificação Grossa %
0 a 5	39 $\pm$ 2	12 $\pm$ 2
5 a 10	18 $\pm$ 3	12 $\pm$ 3
10 a 20	16 $\pm$ 3	14 $\pm$ 3
20 a 40	18 $\pm$ 3	23 $\pm$ 3
40 a 80	9 $\pm$ 3	30 $\pm$ 3
80 a 200	-	9 $\pm$ 3

#### 6.3.5.1.1 Preparação do Material de Ensaio

Antes de se utilizar o pó de teste uma quantidade suficiente para suprir os requerimentos deve ser misturada num compartimento selado por no mínimo 15 minutos. Esse pó de teste deve ser então seco a uma massa constante a uma temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ . O pó de teste deve ser então climatizado até atingir uma massa constante sob as condições presentes.

#### 6.3.5.2 Material do filtro absoluto

O filtro absoluto deve consistir de um meio de fibra de vidro com as seguintes características:

- Espessura mínima de 12,7 mm

- Densidade mínima de  $9,5 \text{ kg/m}^3$
- Diâmetro das fibras entre  $0,76$  e  $1,27 \text{ }\mu\text{m}$
- Absorção de umidade deve ser menor do que 1% do peso depois da exposição a  $49^\circ\text{C}$  e 96% de umidade relativa por 96h.

Observação quanto à instalação:

A velocidade na face não deve exceder  $50\text{m/min}$  para manter a integridade no meio. Para se reduzir erros nas medidas causadas por perdas de fibras ou materiais, o filtro absoluto deve ser sujeitado a uma vazão de pelo menos 110% da vazão especificada de ar ambiente por 15 minutos antes de ser testado por peso.

### **6.3.6 Validação do sistema de alimentação de pó**

A seguir apresenta-se o procedimento para validação do sistema de alimentação de pó. Este foi incluído para auxílio na validação do sistema.

- Deve-se carregar o dispositivo de medição com uma quantidade pré-pesada de pó.
- Inicia-se simultaneamente o sistema de alimentação de pó e o timer.
- A cada intervalo de 5 minutos, determina-se o peso do pó liberado. Deve-se continuar as determinações dos incrementos de pó por 30 minutos.
- Determina-se a taxa de liberação média e o máximo desvio na taxa de liberação.

Recomenda-se a utilização de um tudo de transferência de pó dimensionado a manter uma velocidade mínima de  $914 \text{ m/min}$  de suspensão de pó.

### **6.3.7 Validação da eficiência dos filtros absolutos**

A seguir são apresentados os procedimentos para validação dos filtros absolutos como observado na norma. Estes são aqui expostos para referência e comparação com o método descrito na norma ISO 5011.

- Pesam-se os filtros absolutos. (Os filtros absolutos devem ser pesados com uma precisão de 0,01 g depois do peso estar estabilizado e dentro de um forno ventilado a 105·5°C. Caso um valor estabilizado não possa ser determinado, um período de 4 horas é requerido).
- Arranjam-se os filtros em série.
- Executa-se um teste de eficiência de filtragem e determina-se o aumento do peso em cada filtro absoluto.

$$\eta(\%) = 1 - \frac{A}{B} \times 100$$

Onde:

$\eta$ : Eficiência do filtro absoluto em porcentagem.

A: Aumento de peso do filtro absoluto a montante.

B: Aumento de peso do filtro absoluto a jusante.

- Deve-se utilizar um sistema de medição da vazão tendo a precisão dentro de 2% do valor real.
- Deve-se utilizar um sistema de controle de fluxo de ar capaz de manter a vazão de ar selecionado dentro de uma margem de 1% do valor durante a operação em regime permanente e variável.
- Deve-se utilizar meios apropriados de induzir a vazão através do sistema tendo valores de vazão e pressão suficientes para os filtros a serem testados. A pulsação na vazão deve ser pequena o suficiente para que não seja detectável pelo sistema de medição de vazão.

### **6.3.8 Procedimento para teste de filtro de ar automotivo**

A seguir apresentam-se os procedimentos para a execução dos ensaios de um modo resumido. Os procedimentos são citados para efeito de comparação sendo então recomendado à utilização da norma em sua integridade para execução dos ensaios.

#### **6.3.8.1 Teste de restrição de vazão e queda de pressão**

O propósito do teste é determinar a queda de pressão estática resultante através da unidade sob teste sob determinadas condições.

- Condiciona-se a unidade a ser testada por pelo menos 15 minutos a temperatura e umidade equivalentes ao da área de teste sendo a faixa de temperatura e umidade definidas em norma.
- Para testar a restrição da unidade deve-se montar a bancada como mostrado na figura. Selar todas as juntas e prevenir vazamentos de ar.
- Meça e registre a queda de pressão estática versus a taxa de vazão numa faixa de interesse ou como especificado. Um mínimo de pelo menos 5 medidas a aproximadamente 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da taxa de vazão são recomendadas.
- Para restrição de tara, use a montagem da figura sem o filtro de ar e repita o passo anterior.

Nota: Isso é possível, devido aos efeitos inerciais, para esse valor ser maior do que o da restrição de montagem.

- Determine a restrição líquida da unidade subtraindo os valores obtidos no passo em que se testou somente o circuito com o onde se encontrava a unidade testada.
- Registre os dados.

### 6.3.8.2 Teste de eficiência

O propósito do teste é determinar a capacidade de retenção da unidade sob teste. Esse teste pode ser conduzido tanto com uma vazão variável quanto constante e com pó fino ou grosso. Caso seja desejado, os testes de eficiência podem ser executados em paralelo com os testes de capacidade.

Três tipos de testes de eficiência podem ser executados. Estes são:

- a) Eficiência de fim de vida: determinada quando a pressão terminal é atingida.
- b) Eficiência incremental: é determinada a 10, 25 e 50% da pressão terminal menos a queda de pressão inicial.
- c) Eficiência inicial: é determinada depois da adição de 20g de contaminante ou o número de gramas numericamente equivalente a 0,0973% do fluxo de ar em SCMH (standard cubic meter per hour) metro cúbico padrão por hora, o que for maior.

A determinação da eficiência a uma vazão de teste constante pode ser executada na vazão determinada ou em qualquer porcentagem desta como combinado com o usuário ou fornecedor.

- Baseado na vazão, calcule a taxa de fornecimento de pó utilizando uma concentração de  $1,0\text{g/m}^3$  de ar. Em casos especiais (por exemplo: filtros pequenos) 0,25 e  $0,50\text{ g/m}^3$  podem ser utilizados.
- Condicione a unidade às condições de teste e pese.
- Pese o filtro absoluto.
- Monte a bancada e sele todas as juntas para prevenir vazamentos de ar.
- Registre a temperatura e a umidade relativa.
- Pese o pó de teste especificado com o valor de 125% da capacidade estimada da unidade de teste. Registre o peso.

- Pese e registre o sistema de alimentação de pó com o pó.
- Inicie o fluxo de ar através da bancada e estabilize o fluxo de ar. Registre a queda de pressão.
- Mude a vazão de ar se essa for diferente da vazão a ser utilizada quando da inserção do pó de teste.
- Inicie o alimentador de pó e ajuste a taxa de fornecimento de pó para a concentração calculada.
- Em intervalos de tempo pré-determinados (um mínimo de 5 pontos é recomendado), registra-se a queda de pressão para a vazão e tempo decorrido.
- Continue o teste até que a pressão terminal seja atingida.
- Registre a temperatura e a umidade.
- Pese e registre o sistema de fornecimento de pó com o pó e determine a diferença no peso. A diferença é a quantidade de pó fornecida ao sistema.
- Cuidadosamente remova a unidade em teste sem perder nenhum pó. Observe alguma evidência de vazamento na vedação ou qualquer condição não usual. Pese a unidade. O aumento de peso da unidade é esse peso menos o peso inicialmente obtido.
- Recolha qualquer pó observado a face jusante do filtro em teste até o filtro absoluto. Cuidadosamente remova o filtro absoluto. Pese o filtro absoluto e determine a diferença nos pesos. Essa diferença é o aumento na massa do filtro absoluto.
- Calcule o balanço de material do pó de teste. Esse valor deve estar dentro da faixa de 0,98 a 1,02 para ser considerado válido.

$$\text{Balanço de material do pó de teste} = \frac{\left( \text{Aumento de peso do filtro absoluto} \right) + \left( \text{Aumento de peso da unidade sob teste} \right)}{\text{Peso total do pó fornecido}}$$

- Calcule a eficiência com o seguinte método:

$$\text{Eficiência, \%} = \frac{\text{Aumento de peso da unidade sob teste}}{\left( \text{Aumento de peso da unidade sob teste} \right) + \left( \text{Aumento de peso do filtro absoluto} \right)}$$

- A eficiência, a partir de uma vazão variável, pode ser determinada utilizando-se um padrão de vazão de ar pré-determinado. O padrão para vazão está definido em norma.
- O fornecimento de pó deve ser constante baseado na média da vazão.
- As tomadas de queda de pressão devem ser feitas na vazão máxima.
- A eficiência será determinada quando da utilização da vazão variável depois de um número determinado de ciclos.

### 6.3.8.3 Teste de capacidade

O propósito do teste é determinar o peso total ganho pela unidade sob teste na queda de pressão terminal. Esse teste pode ser conduzido tanto com vazão constante ou o variável e com o pó grosso ou fino. Caso seja desejado o teste de capacidade pode ser executado concorrentemente com o teste de eficiência.

- Conduza o teste como especificado nos procedimentos para o teste de eficiência.
- Assumindo uma taxa constante de tempo decorrido versus peso ganho pela unidade sob teste, trace a curva de restrição versus peso ganho. Os intervalos são definidos em norma. Use a seguinte formula para determinar ganho de peso:

$$\left( \text{Peso do ganho ao final de cada intervalo de tempo} \right) = \frac{\left( \text{Tempo total até o final do intervalo} \right)}{\left( \text{Tempo total até o final do teste} \right)} \times \left( \text{Peso total ganho pela unidade sob teste} \right)$$



- A capacidade da unidade sob teste é o ponto no qual a curva alcança a restrição terminal. Essa restrição não inclui a restrição adicionada pelo dispositivo de medição do pó ou o abrigo de teste.

#### **6.3.8.4 Teste de pressão de colapso**

O propósito do teste é determinar a habilidade de um elemento filtrante de suportar uma pressão diferencial especificada e/ou em qual pressão diferencial o colapso ocorre.

- Ajuste a bancada de teste de modo a executar o teste básico de capacidade de teste. Um elemento utilizado no teste de capacidade ou eficiência ou um novo elemento pode ser utilizado.
- Aumente a pressão através da bancada e, se necessário, coloque pó a uma taxa conveniente até que a queda de pressão especificada seja atingida ou que o colapso do elemento seja evidenciado por uma diminuição na queda de pressão ou um aumento na vazão.
- Registre a máxima queda de pressão obtida e a razão para o término do teste e a condição do elemento depois do teste.

#### **6.3.8.5 Teste de eficácia da vedação**

O propósito desse teste é determinar a eficiência da vedação dos elementos do filtro de ar.

- Posicione o filtro de ar entre duas placas transparentes, figura disponível na norma, e aplique o torque especificado.
- Verifique visualmente qualquer irregularidade ou lacuna na área de vedação. Vedação apropriada pode ser normalmente identificada por uma aparência molhada ou escura contínua através da área de vedação.
- Registre e comente a qualidade da vedação e o torque requerido para selar o filtro.

### 6.3.8.6 Teste de temperaturas extremas

O propósito do teste é determinar a eficácia do filtro de ar a suportar temperaturas extremas.

- Posicione o elemento filtrante entre duas placas resistentes a temperatura aplicando um torque especificado.
- Sujeite a montagem a ciclos quentes e frios especificados. Na ausência de valores específicos, o seguinte é recomendado:
  - 24h a  $121^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
  - 24h a  $-40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
  - 24h a  $121^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
  - 24h a  $-40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
- Deixe a unidade sob teste a se ajustar à temperatura ambiente entre ciclos.
- Depois do ciclo de teste, deixe a unidade se ajustar à temperatura da sala. Remova as placas e inspecione o elemento para condições que podem prejudicar a performance. Caso seja necessário repita o teste de eficiência.
- Registre todas as condições de teste e observações visuais.

### 6.3.9 Equipamento de teste

Alguns arranjos dos equipamentos de teste são mostrados a seguir.

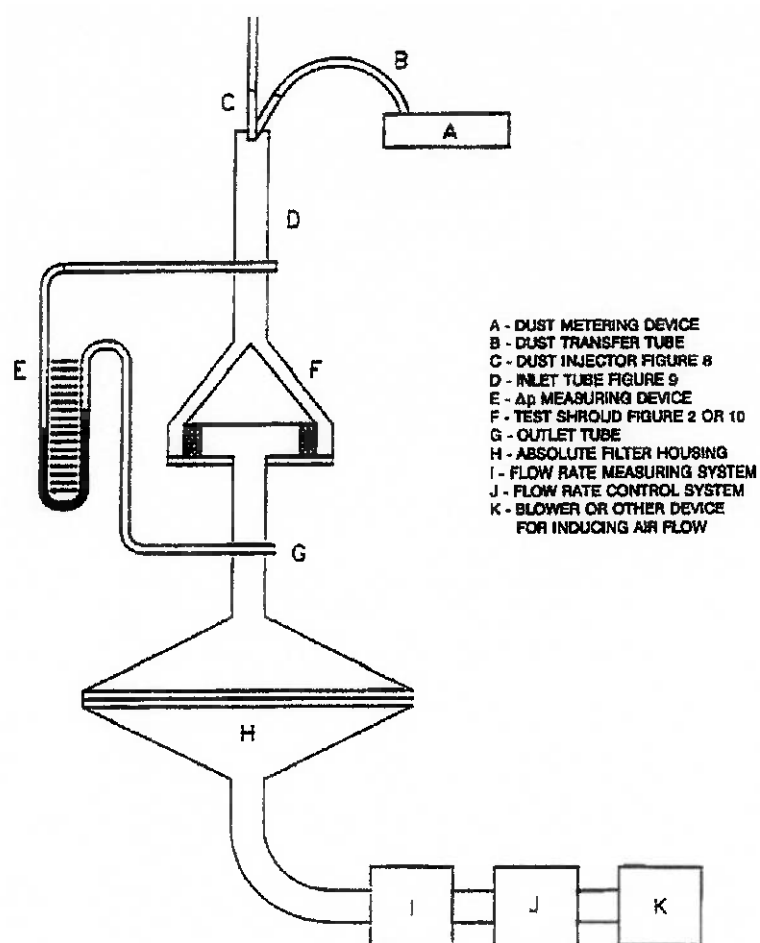


Figura 13 Configuração para teste de eficiência/restricção do elemento filtrante – SAE J726

Na Figura 13 pode-se observar os seguintes itens assinalados:

- A. Medidor de pó
- B. Tubulação pra transferência do pó
- C. Injetor de pó
- D. Tubulação de entrada
- E. Medidor de pressão diferencial
- F. Cobertura de teste
- G. Tubulação de saída
- H. Compartimento do filtro absoluto
- I. Medidor de vazão
- J. Controle de vazão
- K. Ventilador

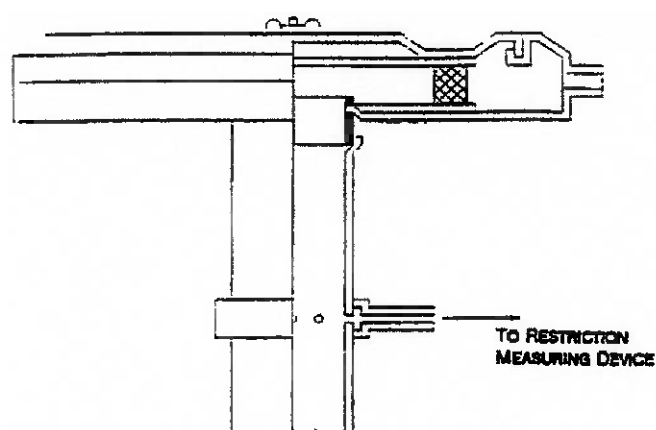


Figura 14 Configuração para teste de restrição de montagem – SAE J726

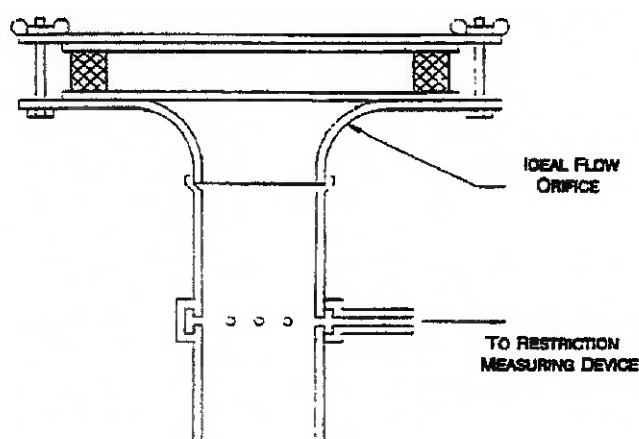


Figura 15 Configuração para teste de restrição do elemento filtrante – SAE J726

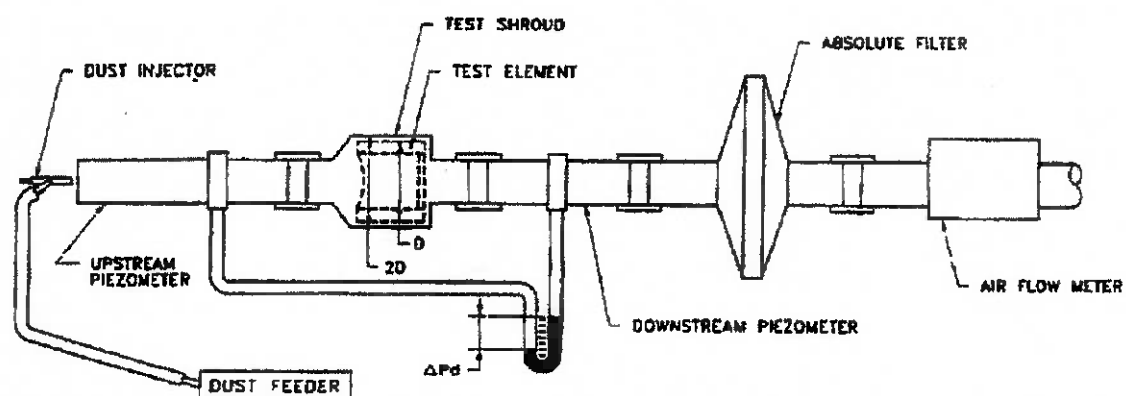


Figura 16 Configuração da bancada - SAE J726

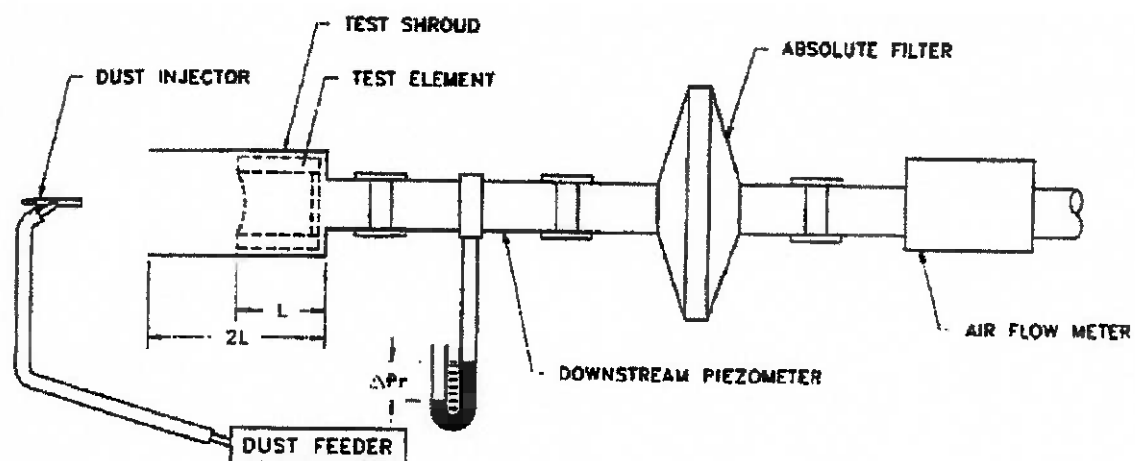


Figura 17 Configuração da bancada - SAE J726

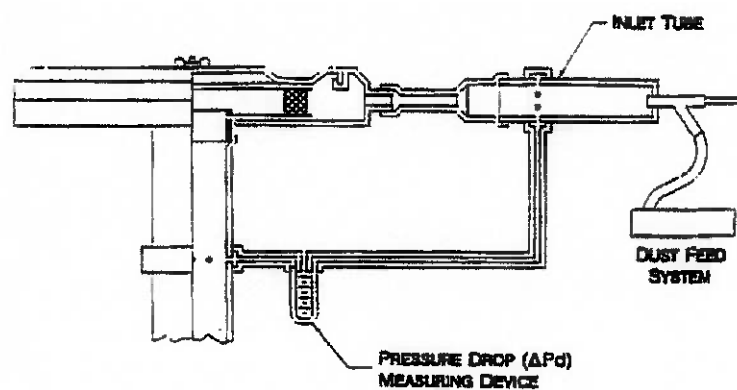


Figura 18 Configuração para teste de eficiência e capacidade da montagem – SAE J726

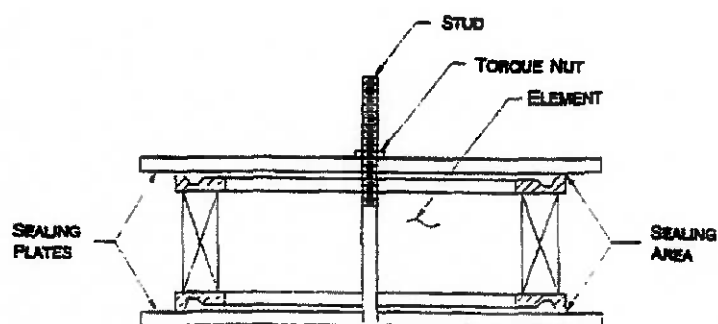


Figura 19 Configuração para teste de montagem – SAE J726

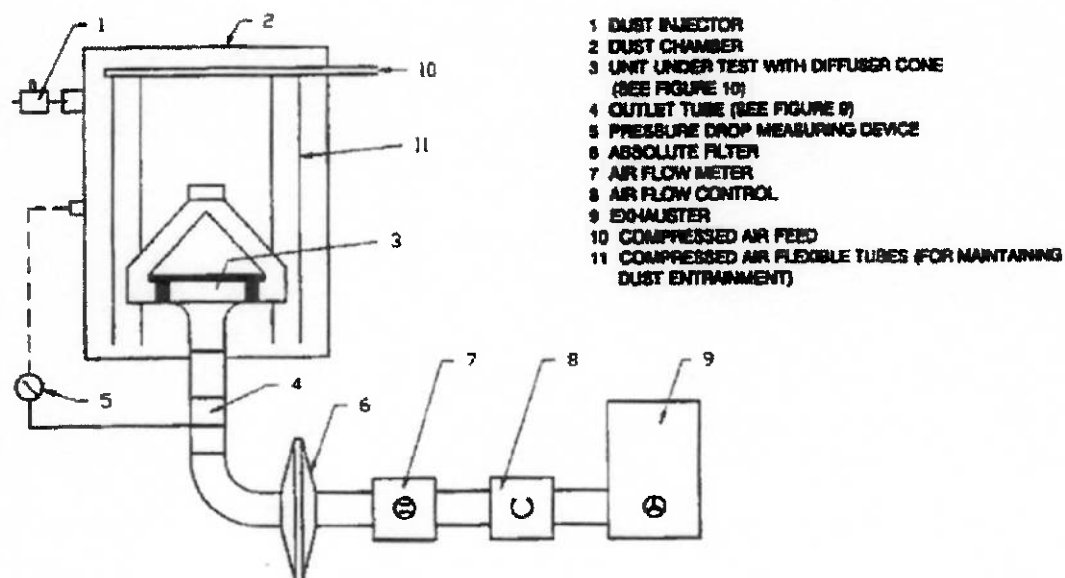


Figura 20 Configuração para teste de eficiência/capacidade de elemento filtrante com câmara de pó – SAE J726

Na Figura 20 pode-se observar os seguintes elementos indicados:

1. Injetor de pó
2. Câmara de pó
3. Unidade em teste
4. Tubulação de saída
5. Medidor de queda de pressão
6. Filtro absoluto
7. Medidor de vazão
8. Controle de vazão
9. Exaustor
10. Fornecedor de ar comprimido
11. Tubos flexíveis para o ar comprimido

## 6.4 ANSI/ASHRAE 52.1-1992

Apresentada como: *ANSI/ASHRAE 52.1-1992 Gravimetric and Dust-Spot Procedures for Testing Air-Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter.*

A Sociedade Americana Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) que é membro do Instituto Nacional Americano de Padrões (ANSI – American National Standards Institute) estabelece estes procedimentos de teste de dispositivos para remoção de material particulado, especifica características para o equipamento requerido para conduzir os testes, define métodos de cálculo para teste de dados e divulgação dos resultados obtidos.

A norma afirma que os valores obtidos não podem ser utilizados por si próprios para prever a limpeza do ar de um espaço específico ventilado ou o tempo de vida do filtro, uma vez que o pó utilizado para o ensaio não é o pó atmosférico típico e deste modo não se podendo garantir que seus efeitos sejam os mesmos. O valor do teste é para avaliação e podendo se estender a classificação.

A norma utiliza-se do método ótico para medir eficiência do filtro. Como um todo se pode classificar a norma como método misto. A ênfase na análise e comparação das características será dada para o ensaio de filtros de ar automotivos secos.

### 6.4.1 Escopo

Medir a habilidade de dispositivos limpadores de ar de remover pó tão logo ele seja carregado com pó sintético padrão. Performance é medida de dois modos:

- Porcentagem de peso de pó sintético capturado pelo filtro (ASHRAE weight arrestance – *captura em peso*).



- Comparando o escurecimento de corpos de prova situados a montante e a jusante do dispositivo limpador de ar usando pó do ambiente atmosférico (ASHRAE atmospheric dust-spot efficiency – *eficiência de marca de pó atmosférico*).

O procedimento não mede a habilidade do filtro de ar remover partícula com diâmetros específicos.

A norma não é dirigida para ensaio de filtros de ar exibindo eficiência da marca de pó (ASHRAE dust-spot efficiency) maior do que 98%.

#### **6.4.2 Incerteza permitida nas medições**

A seguir é listadas a resolução e precisão requerida para os instrumentos de medição utilizados. A lista pode não estar completa, uma vez que os valores não se encontram agrupados em uma única secção e sim citados ao longo do texto. Os valores são citados aqui para efeito de comparação com as outras normas.

- Medição da pressão estática: 2Pa
- Medição da vazão: 0,2L/s
- Medição do filtro absoluto: 500±0,1g

#### **6.4.3 Características de interesse**

- Resistência ao fluxo de ar.
- Habilidade do filtro de retirar partículas do fluxo de ar.
- Tempo de operação

#### **6.4.4 Características testadas**

- Resistência ao fluxo de ar: através do ensaio de resistência x fluxo de ar.
- Habilidade do filtro de retirar partículas do fluxo de ar: através do ASHRAE dust-spot efficiency e do ASHRAE weight arrestance.

- Tempo de operação: teste de carga de pó

## **6.4.5 Material de Ensaio**

### **6.4.5.1 Pó de ensaio sintético ASHRAE**

O pó, comumente referido como pó ASHRAE (ASHRAE dust) é composto em peso de:

- 72% de pó padrão para ensaio de filtros de ar
- 23% de pó de carbono
- 5% de fibras de algodão

Sobre os materiais constituintes do pó de ensaio sintético seguem detalhes.

#### **6.4.5.1.1 Pó padrão**

O pó padronizado para teste de filtros de ar (fino) é classificado do pó recolhido no deserto no Arizona. Sua constituição predominante é a sílica e tem um diâmetro médio de aproximadamente 7,7 microns e um desvio padrão de 3,6.

#### **6.4.5.1.2 Fibras de algodão**

Os fiapos são fiapos de algodão No.7 desfiados em um fiador (Wiley Mill) de modo a passar em uma tela de 4mm.

#### **6.4.5.1.3 Carbono**

O carbono em pulverulento é negro de carbono em forma de pó, com superfície ASTM D3765 CTAB de  $27 \pm 3 \text{ m}^2/\text{g}$ , absorção ASTM D2414 DBP de  $0,68 \pm 0,7 \text{ cm}^3/\text{g}$ , e resistência matiz ASTM D3265  $43 \pm 4$ .

### **6.4.5.2 Filtro final**

O filtro final pode ter três formatos diferentes:

- Em forma de folha plana de meio filtrante presa entre duas flanges vedantes com uma tela de arame para suporte.
- Em um suporte sanfonado de modo a permitir maior utilização do meio filtrante que a área disponível na secção transversal do duto.
- No formato de uma unidade descartável.

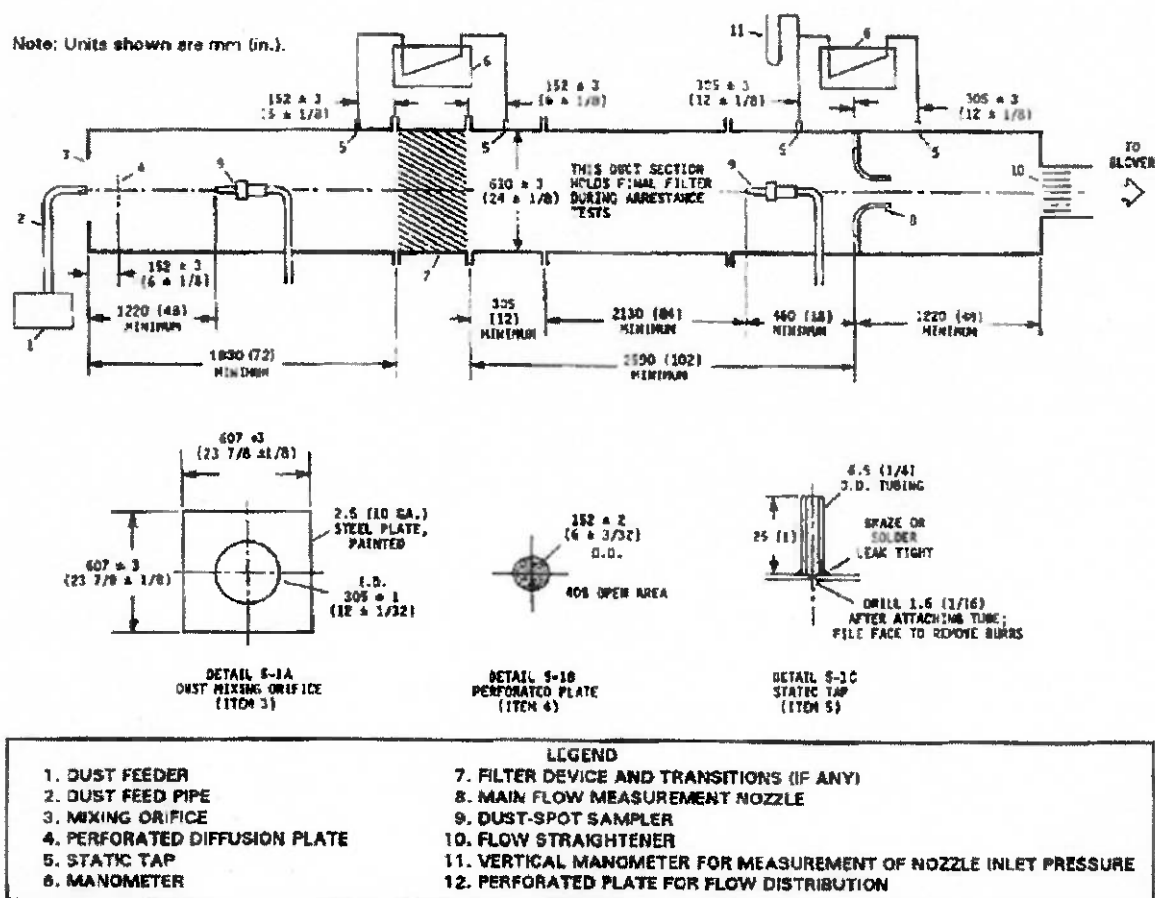
O meio filtrante deve ser de fibras secas sem nenhuma espécie de revestimento adesivo para o pó. A parte que será pesada no filtro final não deve ganhar ou perder mais do que 1g como resultado de danos, perda de fibras, ou alteração na umidade durante o ensaio.

#### **6.4.5.3 Papel alvo para marca de pó**

O papel alvo deve ser de fibra de vidro utilizado no meio filtrante como especificado na norma militar americana MIL-F-51079, com uma espessura de  $0,40 \pm 0,05 \text{ mm}$  ( $0,015 \pm 0,002 \text{ pol}$ ). Normalmente é utilizado o meio filtrante encontrado em filtros HEPA.

#### **6.4.6 Equipamento de teste**

A seguir a apresentação da bancada da ASHRAE.



ASHRAE air filter test duct, blower downstream of test filter.

Figura 21 Configuração da bancada – ASHRAE 52.1

Na Figura 21 pode-se observar os seguintes elementos indicados:

1. Mecanismo de alimentação de pó
2. Tubulação para alimentação de pó
3. Orifício de mistura
4. Placa de difusão perfurada
5. Tomada estática
6. Manômetro
7. Filtro
8. Bocal medidor de vazão
9. Amostrador de pó
10. Direcionador de vazão
11. Manômetro vertical
12. Placa perfurada para distribuição de vazão

## 6.5 CEN EN 779

Apresentada como: *EN 779 Particulate air filters for general ventilation requirements, testing, marking.*

O Comitê Europeu para a Padronização (CEN – Comité Européen de Normalisation) define esta norma para os testes de filtros de ar para ventilação em geral.

Pode-se classificar a norma como sendo de método misto, pois esta se utiliza de método ótico para determinação da eficiência do filtro.

O texto da norma é baseado no EUROVENT 4/5 “Method of testing air filters used in general ventilation” esse por sua vez é baseado na ASHRAE standard 52-76 “Method of testing air-cleaning filters used in general ventilation for removing particulate matter”.

### 6.5.1 Escopo

Filtros de ar submetidos à teste num fluxo de ar entre  $0,24\text{m}^3/\text{s}$  ( $850\text{m}^3/\text{h}$ ) e  $1,39\text{m}^3/\text{s}$  ( $5000\text{m}^3/\text{h}$ ) e que tenha uma eficiência inicial de mancha de pó atmosférico menor do que 98%.

### 6.5.2 Materiais de ensaio

A norma define somente que o filtro, em sua totalidade incluindo estrutura e meio filtrante, deve resistir ao uso normal e a temperatura, umidade, e ambientes corrosivos que provavelmente serão encontrados.

Pós e fibras liberados pelo filtro quando submetido a um fluxo de ar não deve constituir perigo ou incômodo para as pessoas ou dispositivos expostos ao ar filtrado.

#### 6.5.2.1 Pó de ensaio

O pó de teste sintético tem a seguinte composição em massa:

- 72% de pó de teste para ensaio de filtro de ar sintético fino

- 23% de negro de fumo
- 5% de fibras de algodão no. 7

O pó de teste deve ser obtido nessa composição e já misturado pelo fabricante.

### 6.5.2.2 Filtro final

O filtro deve ser do tipo seco, sem nenhuma espécie de revestimento adesivo e deve conter o pó recolhido de modo a minimizar perdas durante o manuseio.

O filtro final não deve ganhar ou perder mais do que 1 grama como resultado de variações de umidade encontradas durante o ensaio por exemplo.

### 6.5.2.3 Balanças

As balanças para pesagem do filtro final devem ter uma precisão de 0,5g. As balanças para pesagem dos incrementos de pó devem ter uma precisão de 0,1g.

## 6.5.3 Classificação

De acordo com sua performance os filtros são classificados em grupos e classes. Os grupos são determinados pelo resultado obtido no teste de mancha de pó  $E_A$  (*Initial dust spot efficiency*). Para os grupos tem-se o seguinte:

- Filtros de pó grosso – grupo G ( $E_A < 20\%$ )
- Filtros de pó fino – grupo F ( $E_A \geq 20\%$ )

Cada grupo é então dividido em classes em que cada classe está relacionada com sua performance na medida média da capacidade de captura do pó sintético  $A_m$  (*Synthetic Dust Weight Arrestance*) ou na eficiência média no ensaio de marca de pó  $E_m$  (*Dust Spot Efficiency*).

Filtros do grupo G são divididos em 4 classes:

- G1 ( $A_m < 65\%$ )

- G2 ( $65\% \leq A_m < 80\%$ )
- G3 ( $80\% \leq A_m < 90\%$ )
- G4 ( $90\% \leq A_m$ )

Filtros do grupo F são divididos em 5 classes:

- F5 ( $40\% \leq E_m < 60\%$ )
- F6 ( $60\% \leq E_m < 80\%$ )
- F7 ( $80\% \leq E_m < 90\%$ )
- F8 ( $90\% \leq E_m < 95\%$ )
- F9 ( $95\% \leq E_m$ )

#### **6.5.4 Procedimentos para teste**

##### **6.5.4.1 Eficiência de pó atmosférico**

Amostras do ar de teste são retirados em igual vazão mássica a montante e a jusante dos filtros testados. Essas vazões idênticas são estabelecidas através de bocais de vazão crítica. A jusante o ar de teste é amostrado intermitentemente controlado por um temporizador.

O tempo decorrido é o provido pelo registro do tempo total “ligado”. Esses dados mais a vazão ( $0,94 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) estabelecida pelos bocais de vazão crítica permitem a verificação das leituras.

O pó capturado a montante e a jusante do filtro é capturado em alvos de filtro de papel de áreas iguais. A porcentagem de tempo “ligado” para a amostragem a montante é ajustada através de experimentos prévios de modo que os alvos a montante e a jusante fiquem aproximadamente com igual opacidade ao final do teste.

#### **6.5.4.2 Peso do pó sintético capturado (Synthetic dust weight arrestance)**

O filtro final e o filtro ensaiado são pesados e então posicionados na bancada. Uma quantidade previamente pesada de pó de teste sintético é provida para a bancada, e o pó que passa pelo filtro é coletado pelo filtro final. O filtro final é então removido e repesado e o aumento no peso é utilizado para calcular o peso do pó sintético capturado. Pelo menos 4 medições devem ser feitas.

#### **6.5.4.3 Determinação da capacidade de retenção de pó, eficiência média, captura média e queda de pressão**

A bancada e os equipamentos auxiliares serão checados e o teste conduzido pelos procedimentos definidos para determinação da eficiência de pó atmosférico e para determinação do peso do pó sintético capturado.

Antes da liberação da primeira carga de pó registre a queda de pressão inicial do filtro, a vazão dada e a eficiência inicial do filtro.

Caso a eficiência inicial do filtro seja maior do que 98% nenhum outro teste deve ser feito.

Caso a eficiência inicial seja menor do que 20% nenhum outro teste de eficiência deve ser feito e o teste continua com o teste de retenção somente.

Caso a eficiência inicial seja entre 20% e 98%, o teste de eficiência deve ser continuado começando com a determinação do peso do pó sintético capturado (dust weight arrestance) fornecendo à bancada o pó de teste em incrementos com um incremento inicial de 30g.

Para cada ciclo de teste, entre cada incremento de pó, determine e registre a queda de pressão, pó fornecido, pó retido no filtro final, e eficiência atmosférica se requerida.

Quando a queda de pressão final especificada é atingida, a média atmosférica, média de retenção e capacidade de retenção de pó do filtro é determinado pelo procedimento.



### 6.5.5 Equipamento de teste

A seguir são apresentadas as configurações como propostas na norma.

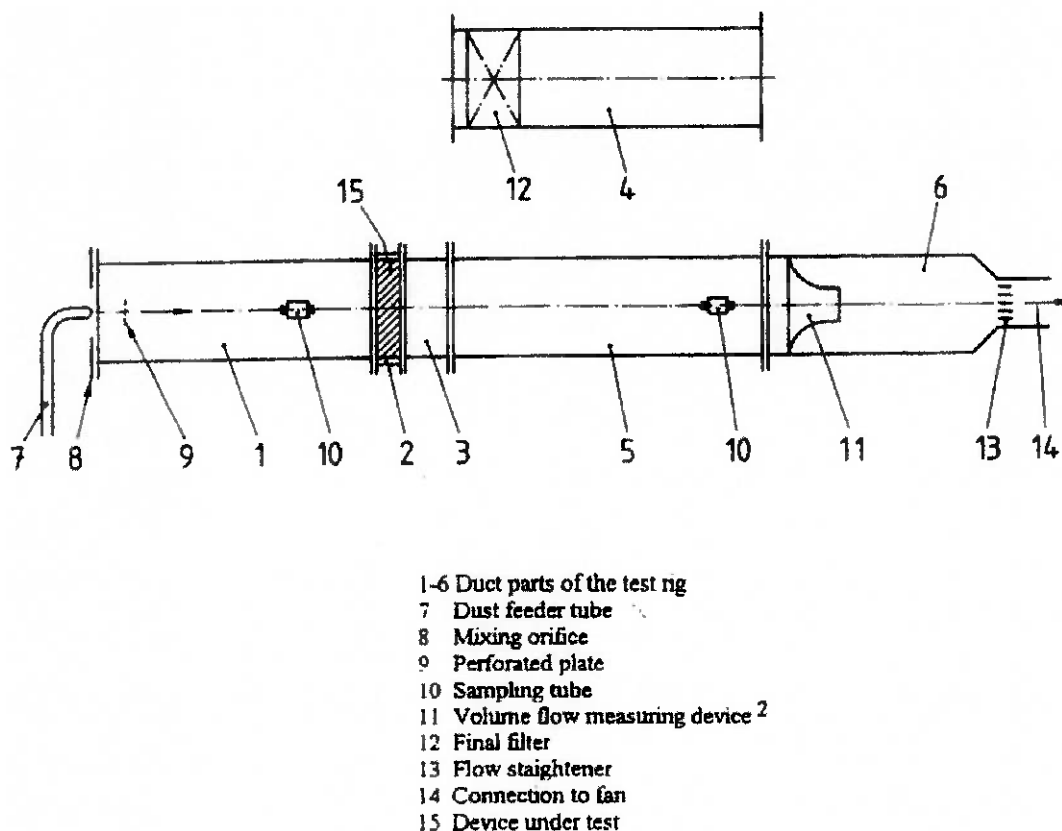


Figura 22 Configuração da bancada – CEN EN 779

Na Figura 22 pode-se observar os seguintes elementos indicados:

- 1-6 Dutos
- 7. Tubulação para alimentação de pó
- 8. Orifício de mistura
- 9. Placa perfurada
- 10. Tubo de amostragem
- 11. Medidor de vazão
- 12. Filtro final
- 13. Direcionador de vazão
- 14. Conexão com o ventilador
- 15. Dispositivo em teste

## 6.6 MIL STD 282 - método 102.1

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos apresenta essa norma para testes de unidades filtrantes, roupas de proteção, componentes de máscaras de gás e produtos correlatos.

Apresentada como *MIL-STD 282 Military Standard: Filter Units, Protective Clothing, Gas-Mask Components and Related Products: Performance Test Methods*. O método 102.1 é o que trata de testes de filtro de ar e é apresentado como: *DOP-Smoke penetration and air resistance of M13 particulate filter, 12 C.F.M.*

### 6.6.1 Escopo

Esta norma descreve o procedimento de operação para o mecanismo E17, de teste de fumaça com DOP, que é utilizado para avaliar os filtros absolutos determinando a penetração de fumaça e resistência ao ar.

### 6.6.2 Funcionamento do mecanismo

Primeiramente, temos ar vindo de uma fonte a aproximadamente 690 kPa (100 psi) passando por um filtro de ar e sendo dividido em duas linhas. O ar que vai para uma das linhas vai ser utilizado para controlar o fluxo de fumaça, e o ar da outra linha vai ser utilizado para a geração da fumaça contendo DOP. A linha que gera o aerossol vai ser dividida em dois ramos: um que passa pelo gerador para pegar vapor a partir do DOP quente; outro que vai ser resfriado. Então, os fluxos de ambos vão ser unidos. Controlando o fluxo de ar que passa pelo gerador de DOP e a temperatura do ramo resfriado, vai ser controlado o tamanho das partículas de DOP. A fumaça é então levada à linha de ar principal, cujo fluxo é gerado por um ventilador.

O ar da linha principal, que agora contém fumaça, é então levado à câmara à qual está preso o filtro a ser testado. para testar a eficiência do filtro, o ar da linha principal pode ser desviado, antes ou depois de passar pelo filtro, para uma câmara contendo uma célula fotoelétrica. Então a medida da célula do ar antes de passar pelo filtro é

comparada com outra medida, quando o ar que entra na câmara passou pelo filtro. A partir daí se tira a penetração de fumaça pelo filtro.

Para medir a resistência ao ar do filtro, deve-se ler em um nanômetro as medidas de pressão com o filtro preso a câmara de filtro e sem obstáculo algum preso à mesma. Subtraindo-se as duas medidas se obtêm a resistência do filtro.

### **6.6.3 Operação do mecanismo**

Na norma é descrito como operar e fazer a manutenção do mecanismo E17. Para a geração de DOP, por exemplo, deve-se encher o gerador de fumaça com DOP até um ponto entre a marca superior e inferior no indicador de nível. O DOP deve estar a uma distância de um terço da distância a partir da marca inferior. Então, deve-se ajustar o timer para 30 minutos, o aquecedor de parede (wall heater variac) para 73, e o controlador de tamanho de partícula para 50, onde todos estes são partes integrantes do mecanismo E17.

Desse modo, temos também na norma como operar o restante do mecanismo.

### **6.6.4 Precisão nas medidas**

Não é dito na norma qual a precisão das medidas que o mecanismo realiza. No mecanismo há mostradores que irão indicar as medidas de penetração de fumaça e de perda de carga, mas não é dito qual a precisão dos mesmos.

## 6.6.5 Equipamento de teste

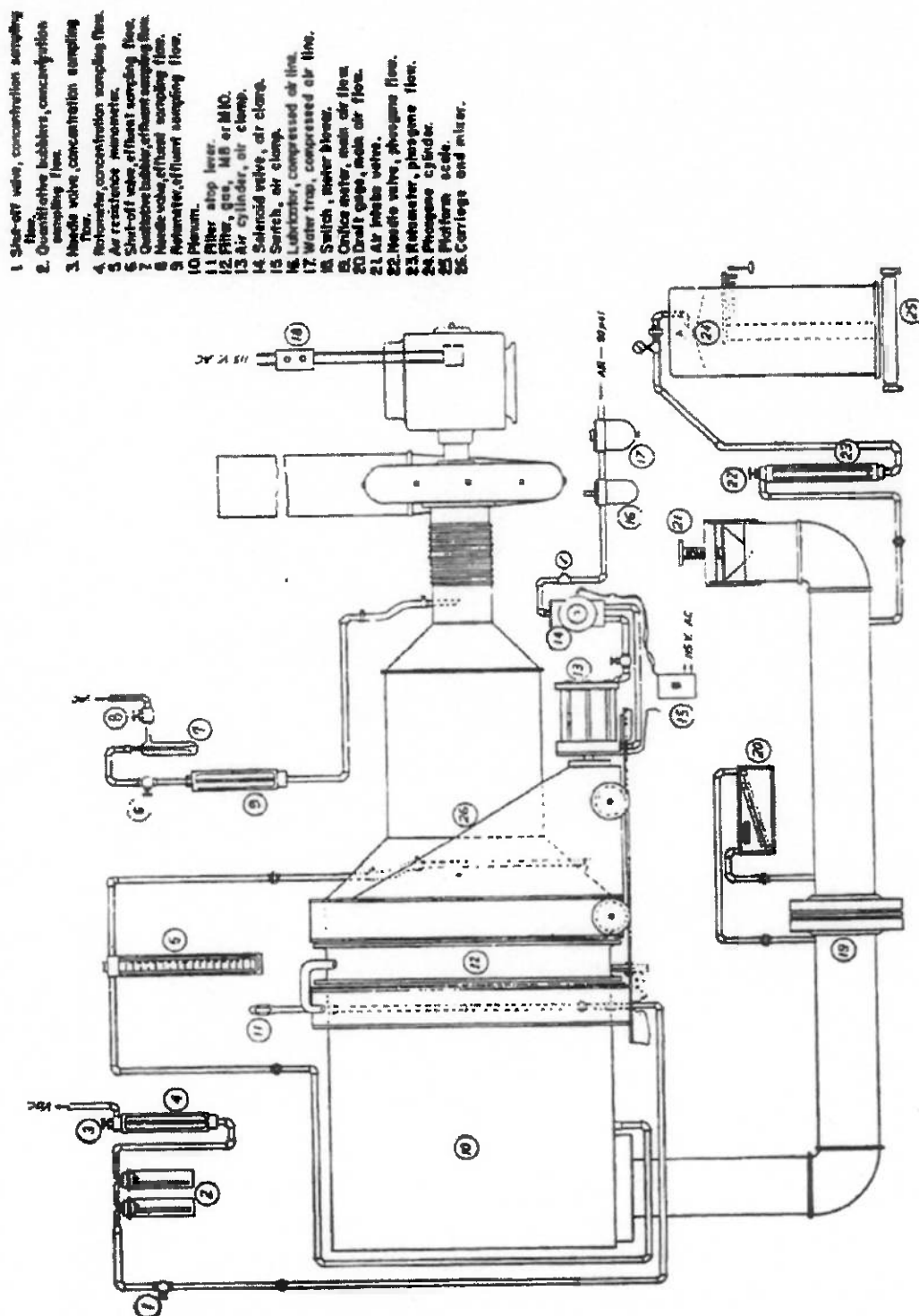


Figura 23 Configuração da bancada – MIL STD 282

## **6.7 ISO 12103-1**

Apresentada como: *ISO 5011 First edition 1997-12-15 Road vehicles – Test dust for filter evaluation – Part 1: Arizona test dust.*

A Organização Internacional para a Normalização (ISO – International Organization for Standardization) determina essa norma para classificação de pó utilizado na determinação de desempenho de sistemas de filtragem.

A seguir são descritos alguns valores de referência para o pó a ser utilizado nos ensaios. Essa norma visa complementar a informação especificada nas normas ISO anteriores a elas devido à evolução dos sistemas de avaliação do tamanho e distribuição de partículas.

### **6.7.1 Pó de teste**

O pó de teste definido na parte 1 da norma é fabricado utilizando-se a areia do deserto do Arizona. A areia do deserto do Arizona consiste principalmente de dióxido de silício e uma pequena quantidade de outros componentes.

### **6.7.2 Classificação**

O pó está disponível em quatro categorias padrão designadas como se segue:

- ISO 12103-A1 para pó de teste ultrafino
- ISO 12103-A2 para pó de teste fino
- ISO 12103-A3 para pó de teste médio
- ISO 12103-A4 para pó de teste grosso

A seguir é apresentada a distribuição acumulativa das partículas.

Tabela XX Distribuição acumulativa das partículas – ISO 12103

Tamanho $\mu\text{m}$	Máxima fração do volume em %			
	A1 ultrafino	A2 fino	A3 médio	A4 grosso
1	1 a 3	2,5 a 3,5	1 a 2	0,6 a 1
2	9 a 13	10,5 a 12,5	4,0 a 5,5	2,2 a 3,7
3	21 a 27	18,5 a 22,0	7,5 a 9,5	4,2 a 6,0
4	36 a 44	25,5 a 29,5	10,5 a 13,0	6,2 a 8,2
5	56 a 64	31 a 36	15 a 19	8,0 a 10,5
7	83 a 88	41 a 46	28 a 33	12,0 a 14,5
10	97 a 100	50 a 54	40 a 45	17,0 a 22,0
20	100	70 a 74	65 a 69	32,0 a 36,0
40	-	88 a 91	84 a 88	57,0 a 61,0
80	-	99,5 a 100	99 a 100	87,5 a 89,5
120	-	100	100	97,0 a 98,0
180	-	-	-	99,5 a 100
200	-	-	-	100

Tabela XXI Composição química – ISO 12103

Substância	Fração da massa %
$\text{SiO}_2$	68 a 76
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10 a 15
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2 a 5
$\text{Na}_2\text{O}$	2 a 4
$\text{CaO}$	2 a 5
$\text{MgO}$	1 a 2
$\text{TiO}_2$	0,5 a 1
$\text{K}_2\text{O}$	2 a 5

Materiais voláteis (1050°C): 2% a 5%

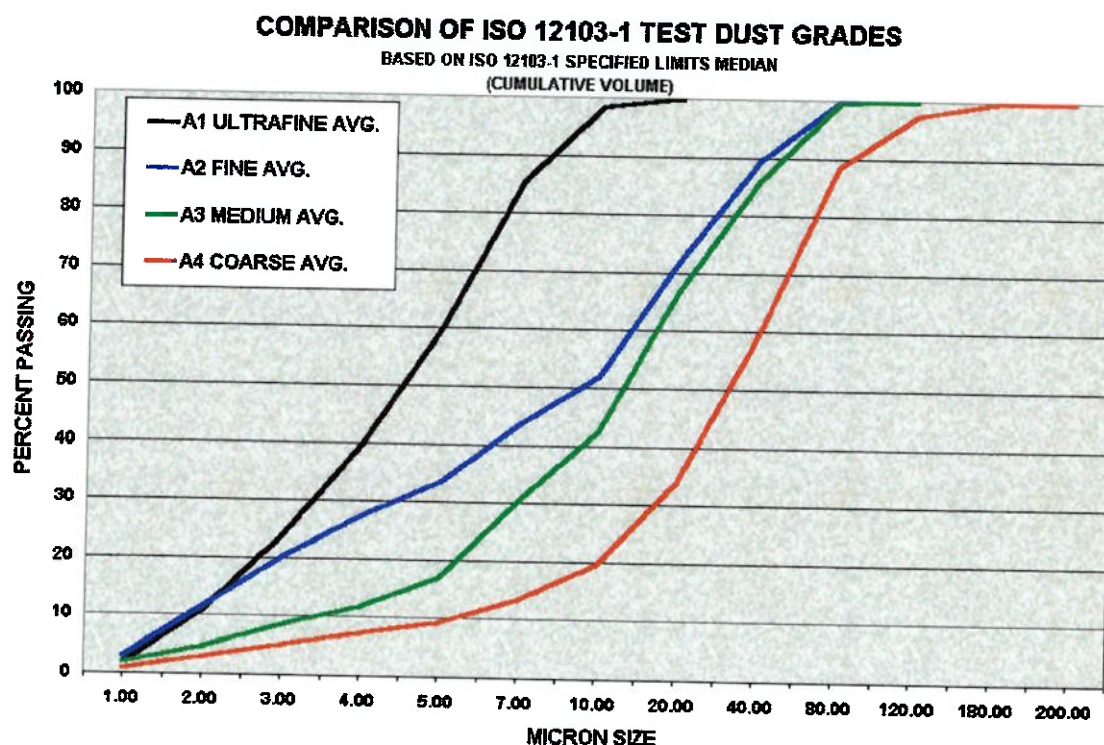


Gráfico 5 Distribuição das partículas – ISO 12103

## 7 DISCUSSÃO SOBRE AS NORMAS

As normas apresentam 3 métodos distintos para a realização de testes dos filtros de ar. Deve-se observar entretanto que as normas definidas pela ISO 5011, SAE J726, ASHRAE 52.1e CEN EN779 são para um escopo diferente da definida pela MIL STD 282. As primeiras definem normas para ensaio de filtros automotivos ou de uso geral enquanto a segunda define normas para ensaio de filtros absolutos.

Como seria de se esperar o ensaio de filtros absolutos é consideravelmente mais complexo que o ensaio de filtros automotivos ou de uso geral. A começar pelo tamanho da partícula do chamado “pó de teste”, uma vez que para o ensaio de filtros absolutos não utiliza um pó propriamente dito.

Nas normas, definidas pela ISO 5011, SAE J726, ASHRAE 52.1 e CEN EN779, são especificados pós de teste com uma distribuição de tamanho e composição química muito similar. Os pós padrões definidos na ISO 5011 e SAE J726 são agora

padronizados pela norma ISO 12103-1 onde tem-se a correlação entre ISO fine – SAE fine e ISO coarse – SAE coarse.

De acordo com a Powder Technology Incorporated – PTI a mudança na distribuição do tamanho da partícula se deu devido à evolução nos equipamentos disponíveis para análise nas partículas.

Com relação as normas ASHRAE 52.1 e CEN EN779 não se pode fazer uma análise mais profunda do material utilizado para o ensaio, uma vez que a norma define de maneira vaga seu pó de teste. Alguns fabricantes disponibilizam pó de teste ASHRAE 52.1 em sua lista de produtos e um comparativo de preços será realizado mais adiante.

A norma MIL STD 282 método 102.1 visa testar filtros absolutos que por sua vez devem reter partículas muito menores que as retidas em filtros automotivos ou de uso geral (vide seção sobre filtros HEPA). Para o ensaio a norma define então como “pó de teste” um aerossol de DOP (DiOctyl Phthalate) que deve ter um tamanho específico, controlado e gerado de maneira contínua. O material deve ser manuseado com cuidado pois é considerado cancerígeno.

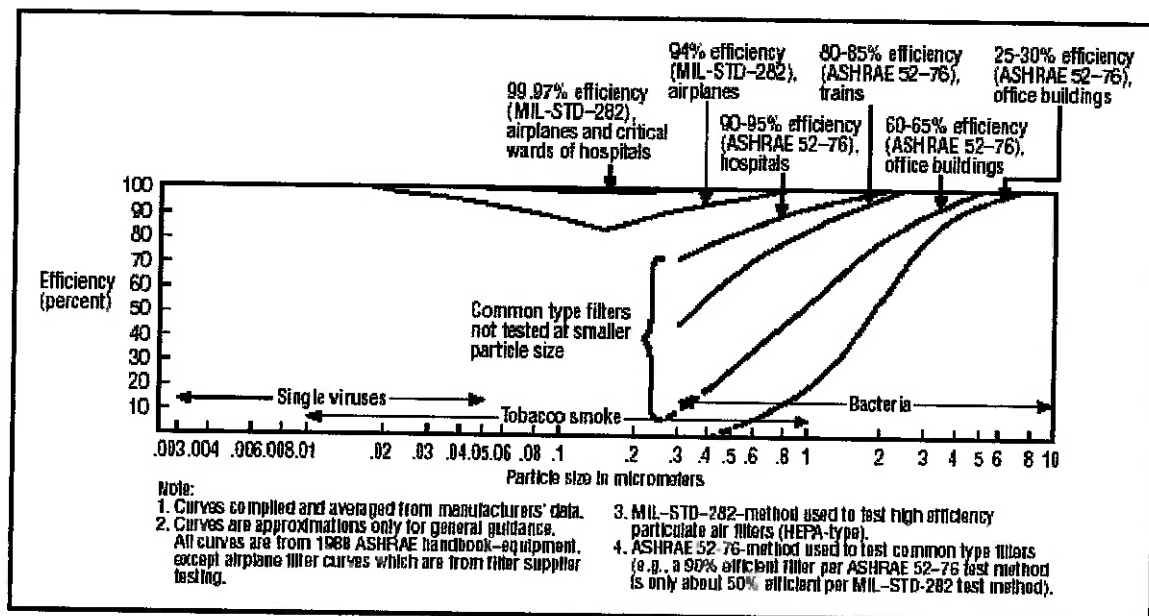


Figura 24 Comparação da eficiência de filtros



Para a construção de uma bancada de ensaio de filtro foi então escolhida as normas ISO 5011 e SAE J726. As normas ASHRAE 52.1 e CEN EN779 foram preteridas devido à utilização de método ótico não considerado muito preciso e mais complexo que o método de pesagem.

A norma MIL STD 282 foi considerada para uma fase posterior. Os equipamentos e métodos de ensaio são mais complexos dos encontrados nas normas para ensaio de filtros automotivos e de uso geral, porém, existe um interesse por parte do instituto não só devido a isso ser mais uma possibilidade a ser acrescentada a lista de produtos a serem oferecidos mas também por algum dos equipamentos estarem disponíveis e parados. Os equipamentos foram doados pela CETESB e se encontram parados devido a ausência de alguns equipamentos, manuais e pessoal habilitado para opera-los.

Devido a isso algum levantamento de informações relativa à geração de material particulado utilizando-se esses equipamentos foi executado e seus resultados também serão aqui expostos.

## 8 MATERIAIS E MÉTODOS

### 8.1 Geração de material particulado

A seguir serão descritos os equipamentos disponíveis no IPT com sua respectiva função. Os equipamentos, doados, não possuíam sua embalagem original e alguns deles nem os manuais não possuíam. Alguns manuais faltantes foram encontrados no site do fabricante.

#### 8.1.1 Atomizador de saída constante

O nome do atomizador é Constant Output Atomizer sendo o modelo TSI Model 3076. Esse dispositivo pode gerar aerossóis de partículas com tamanho constante com concentrações maiores do que  $10^7$  partículas por centímetro cúbico. Sua vazão nominal de aerossol é de 3,0 litros por minuto.

Os aerossóis são classificados como polidispersos, ou seja suas partículas se encontram em uma faixa de valores e não em um único valor de diâmetro. A faixa de partículas encontradas é de 0,01 a 2 microns sendo o diâmetro médio de 0,3 micron com um desvio padrão menos do que 2,0.

Pode trabalhar com diversas soluções e suspensões incluindo esferas de látex de poliestireno, DOP, óleo de silício, soluções de sal e açúcar e azul de metileno.

Tabela XXII Características do atomizador

Atomizador	
Modelo	3076
Classificação do Aerossol	Polidisperso
Faixa de tamanho das partículas ( $\mu\text{m}$ )	0,01 a 2 (diâmetro médio nominal de $0,3\mu\text{m}$ )
Concentração das partículas	$>10^7/\text{cm}^3$
Taxa de vazão nominal ( $\ell/\text{min}$ )	3

### 8.1.1.1 Funcionamento

Ar comprimido se expande através de um orifício para formar um jato de alta velocidade. O líquido é fornecido ao atomizador através de uma passagem vertical e é então atomizado pelo jato. Grandes gotas são removidas pelo impacto na parede oposta ao jato e o excesso de líquido é drenado pelo fundo do atomizador. Finas gotículas deixam o atomizador através da montagem no topo.

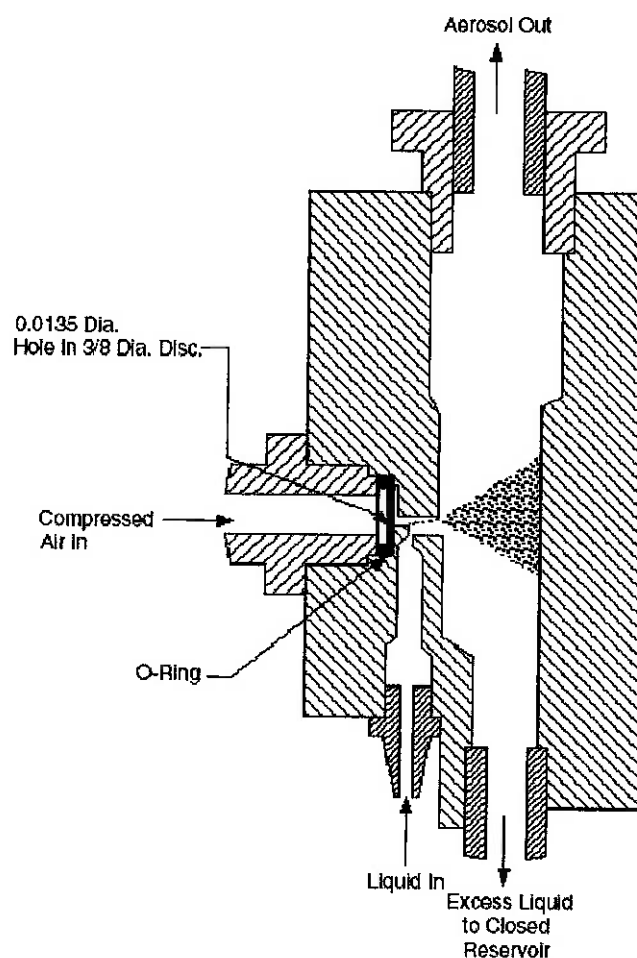


Figura 25 Diagrama esquemático do funcionamento do atomizador



Figura 26 Foto do atomizador

### 8.1.2 Bomba de vácuo

Listado como Vacuum Pump TSI model 3033. Essa bomba de vácuo tem capacidade para bombear até 60ℓ/min e é a indicada pela TSI para operar conjuntamente ao 3068A Aerosol Electrometer.



Figura 27 Foto da bomba de vácuo

### **8.1.3 Classificador eletrostático**

O classificador eletrostático apresentado como Eletrostatic Classifier TSI Model 3071A pode ser utilizado para gerar, medir e retirar amostras de aerossóis. Dado como entrada um aerossol polidisperso, a saída pode ser uma corrente de aerossol monodisperso de tamanho conhecido. Dado como entrada um aerossol eletrostaticamente carregado, a saída pode ser uma corrente de aerossol com uma faixa estreita de mobilidade elétrica ou com mobilidade elétrica menor do que o valor ajustado. O classificador pode ser operado em diversos modos em faixas de tamanho abaixo de 0,01 micrometro a maiores do que 1,0 micrometro de diâmetro.

O classificador eletrostático 3071 foi o primeiro analisador de mobilidade disponível comercialmente. A TSI apresenta a série 3080 como sucessora do modelo 3071A.

#### **8.1.3.1 Funcionamento**

O DMA (analisador de mobilidade diferencial - Differential Mobility Analyzer) é um analisador de fluxo contínuo que separa as partículas de acordo com sua mobilidade elétrica no ar. Um fluxo de ar livre de partícula flui axialmente no espaço entre um cilindro exterior e uma haste central. As partículas do aerossol são então introduzidas através de uma abertura no cilindro exterior, e uma tensão aplicada à haste central faz com que as partículas carregadas migrem através do fluxo para a haste central. Uma abertura na haste central permite que as partículas saiam do analisador, desde que tenham a “correta” mobilidade elétrica para chegar a esta abertura. A tensão aplicada à haste central é ajustada para um valor que corresponda à mobilidade desejada, ou varrida para analisar a distribuição de mobilidade.



Figura 28 Foto do classificador eletrostático

#### 8.1.4 Eletrômetro de aerossol

O eletrômetro de aerossol apresentado como Aerosol Electrometer TSI Model 3068 é um sensor de concentração de aerossol utilizado para medir a saída do classificador eletrostático 3071A. A combinação do atomizador, do classificador eletrostático e do eletrômetro permite a produção com alta precisão de aerossóis monodispersos de uma ampla variedade de materiais com concentrações e tamanhos precisamente conhecidos.

A faixa de tamanho ótima para operação é de 0,01 a 0,1 micrometro. Contudo, a operação com menor precisão na faixa de 0,005 a 0,01 micrometro e de 0,1 a 0,5 micrometro é possível.

Uma outra característica do eletrômetro é que ele pode detectar a concentração líquida de íons de uma amostra de aerossol. Característica utilizada nos estudos dos efeitos do ar ionizado na saúde. A alta sensibilidade do eletrômetro permite a medida de atmosferas suavemente ionizadas.

### 8.1.4.1 Funcionamento

O eletrômetro de aerossol consiste em um eletrômetro sensor de corrente que captura as partículas por filtração e mede o total de corrente elétrica com um eletrômetro.

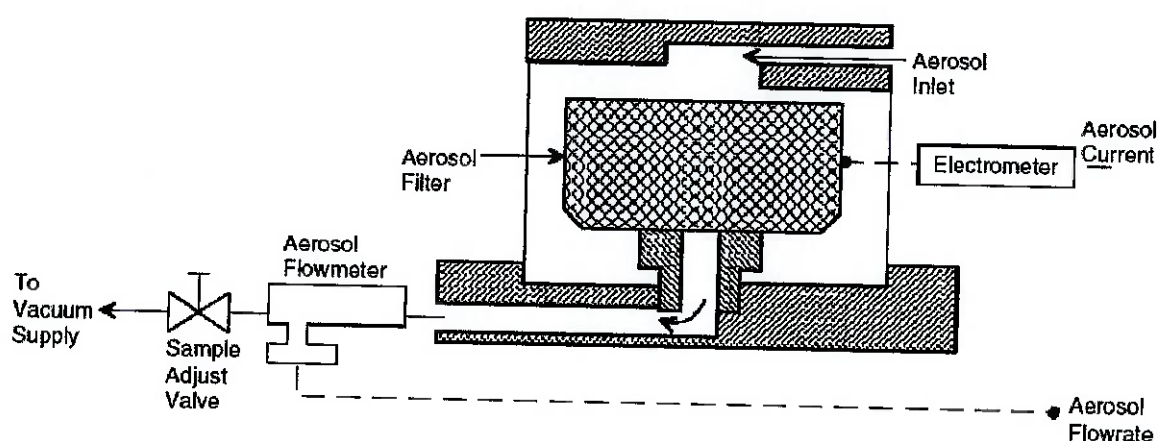


Figura 29 Diagrama esquemático do eletrômetro de aerossol



Figura 30 Foto do eletrômetro de aerossol

### 8.1.5 Gerador de aerossol de leito fluidizado

O gerador de aerossol de leito fluidizado ou como apresentado Fluidized Bed Aerosol Generator TSI Model 3400 é utilizado para dispersar ou gerar aerossol de partículas secas com tamanhos na faixa de 0,1 a 20 micrometros de diâmetro aerodinâmico.

A ação das esferas no leito fluidizado quebra os aglomerados de partículas de pós finos. A concentração na saída é relativamente estável quando comparado a outros dispositivos de dispersão de pó.

Atualmente é comercializado o modelo 3400A no lugar do 3400.

### 8.1.5.1 Funcionamento

O pó é fornecido ao leito fluidizado através de uma corrente de esferas de velocidade variável. O movimento contínuo do material do leito desaglomera o pó. O ar filtrado por sob o leito leva as partículas de pó para a saída.

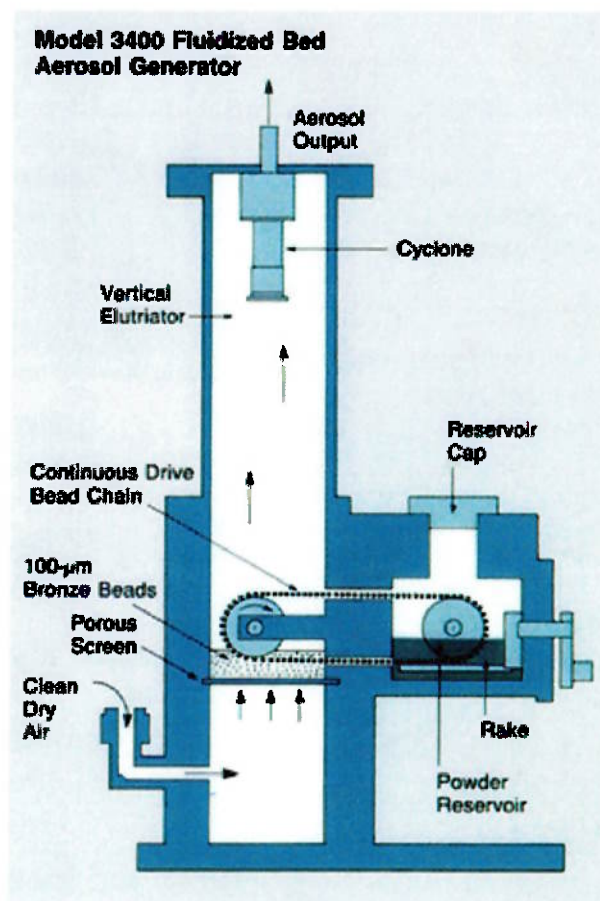


Figura 31 Diagrama esquemático do gerador de leito fluidizado





Figura 32 Foto do gerador de aerossol por leito fluidizado

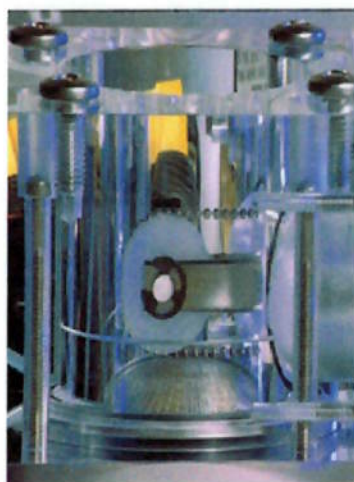


Figura 33 Detalhe de onde é gerado o leito fluidizado

### 8.1.6 Gerador de aerossol por orifício vibrante

O gerador de aerossol por orifício vibrante comercializado como Vibrating Orifice Aerosol Generator (VOAG) TSI Model 3450 produz aerossóis de partículas monodispersas na faixa de 1 a 200 micrometros (os diâmetros iniciais das gotas medem de 20 a 400 micrometros). O dispositivo pode utilizar uma variedade de solutos e

solventes criando aerossóis sólidos e líquidos uniformes em tamanho, forma, densidade e características de superfície.

O VOAG gera partículas uniformes controlando a quebra do jato de líquido. Ele prove um volume consistente de líquido utilizando uma bomba de seringa com fluxo constante.

O aerossol produzido pode ser utilizado como padrão para a calibração de contadores óticos de partículas.

#### **8.1.6.1 Funcionamento**

O sistema gerador de gotículas consiste de uma bomba seringa, um sistema de fornecimento de líquido, uma montagem do orifício para o líquido, e um gerador de sinais.

A bomba seringa força a solução de aerossol da seringa através de uma membrana de filtro ou através de uma tubulação de Teflon. A solução, que se move a uma vazão constante, é forçada até a montagem onde se encontra o orifício através de uma pequena abertura de modo que a solução forma um jato de líquido. Um sinal do gerador de sinais é aplicado a cerâmica piezelétrica produzindo uma vibração mecânica no disco do orifício. A vibração no disco faz com que o jato de líquido se quebre em gotículas uniformes.

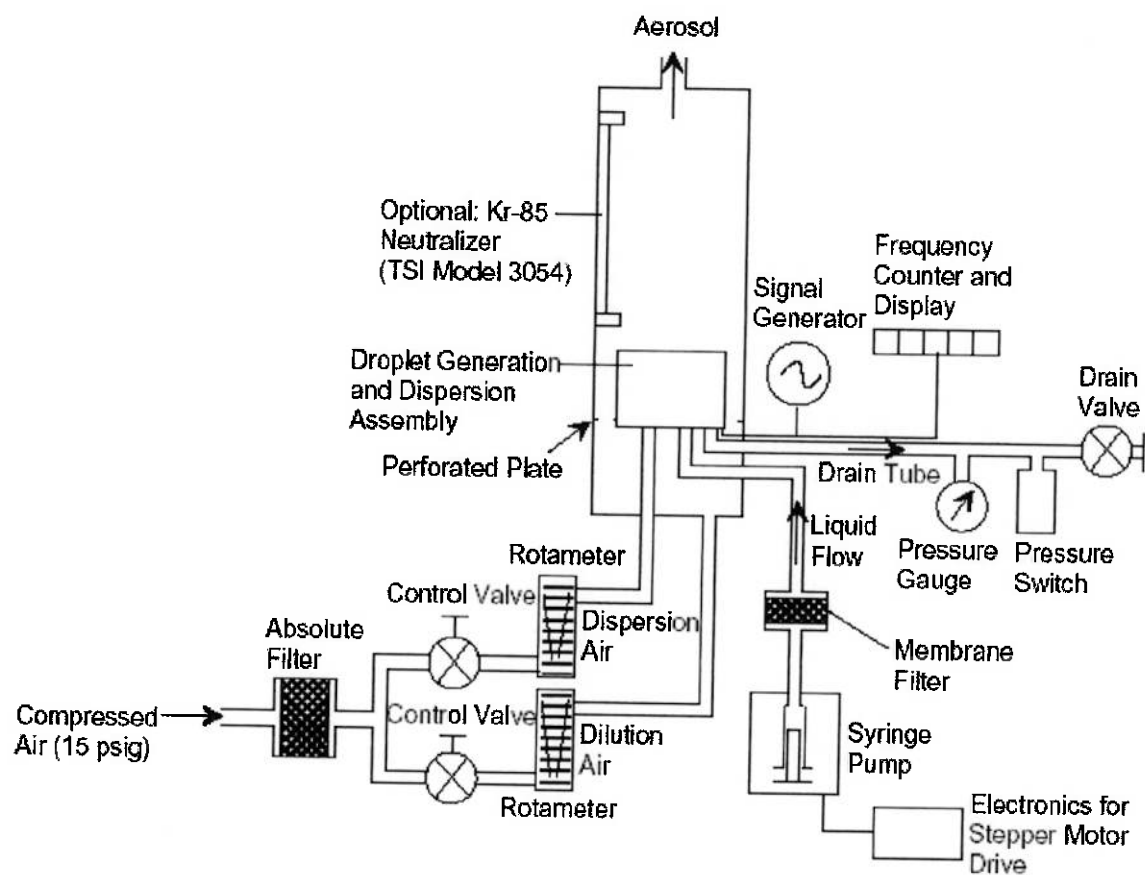


Figura 34 Diagrama do gerador de aerossol

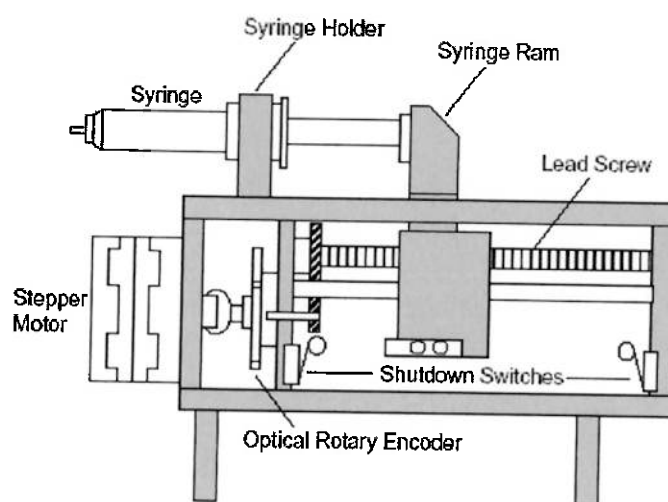


Figura 35 Diagrama da bomba seringa

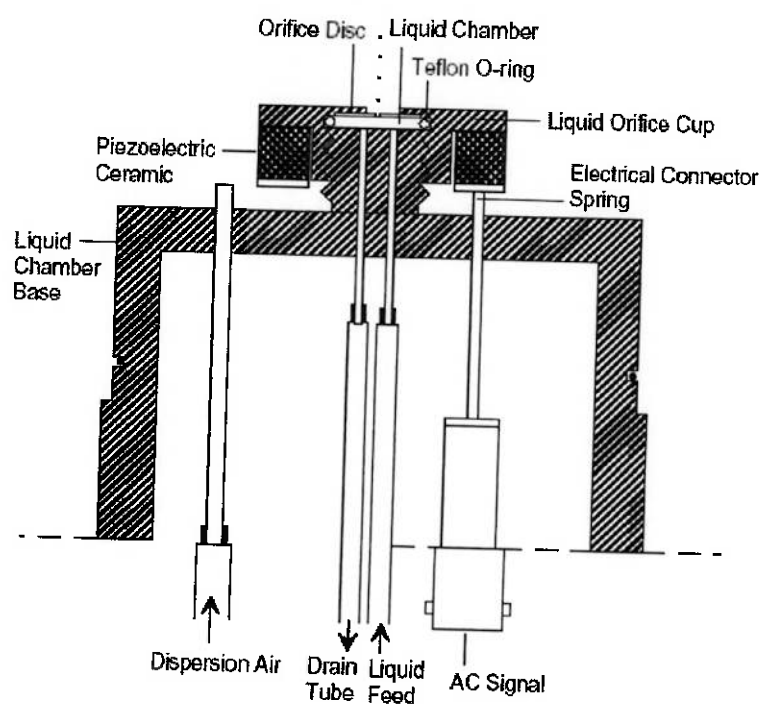


Figura 36 Diagrama do orificio

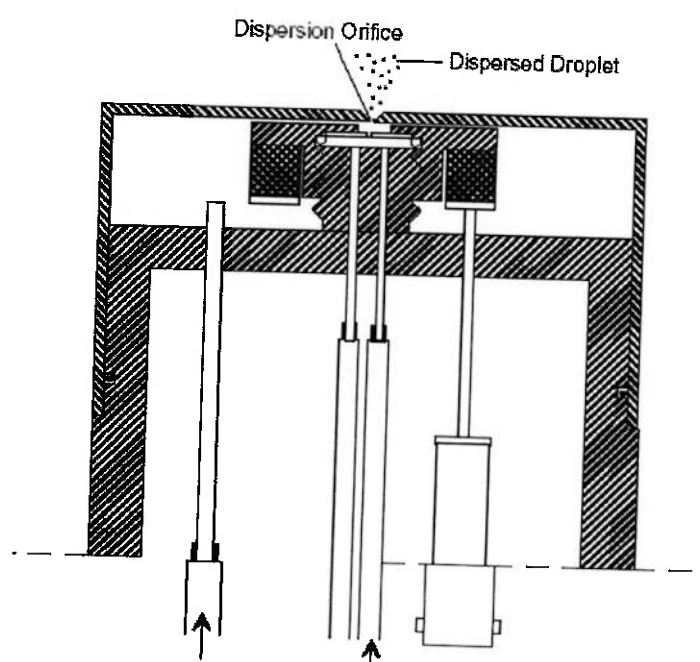


Figura 37 Diagrama do sistema de dispersão

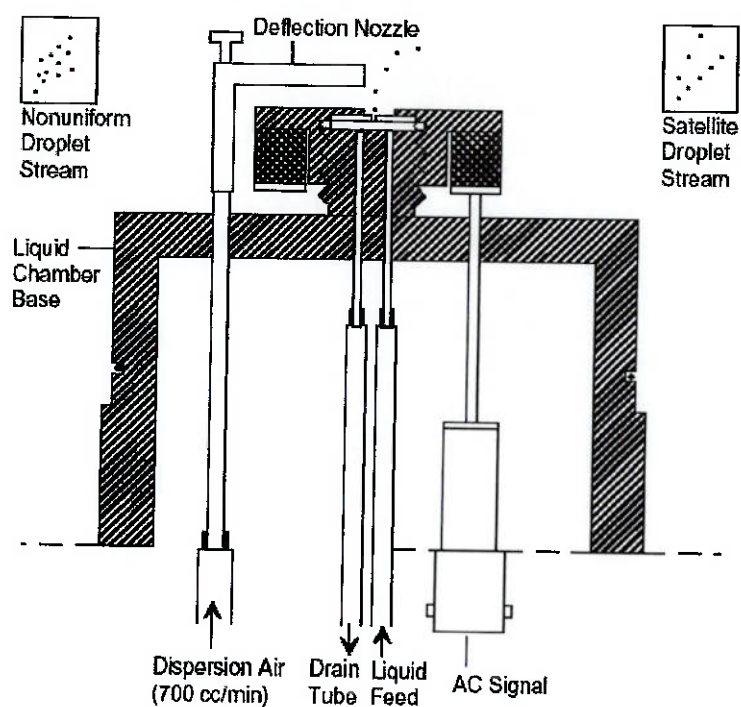


Figura 38 Montagem utilizada para verificar uniformidade nas partículas



Figura 39 Foto do gerador de partículas por orifício vibrante

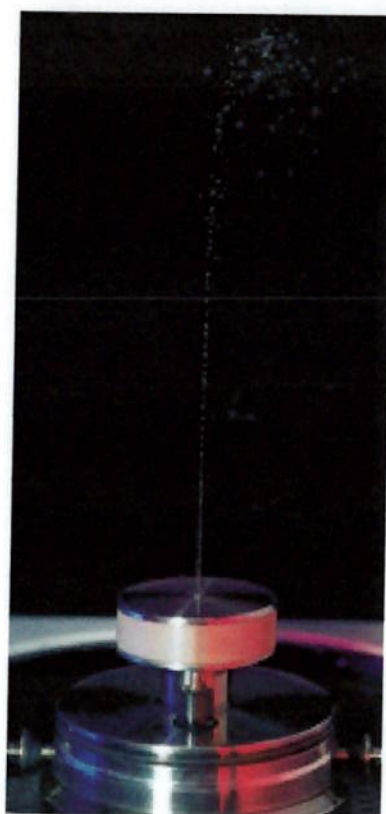


Figura 40 Orifício durante operação

#### Precise View of Droplet Generation



*The VOAG generates identical droplets from a liquid stream as the stream passes through the vibrating orifice. The droplets form a thin, vertical jet when the VOAG is operating properly. The jet-viewing light allows easy monitoring of this operation.*



*The operator checks droplet uniformity by using a gentle flow of air to deflect the droplet stream. A single deflected jet indicates uniform droplet size.*



*Two or more deflected jets indicate generation of more than one droplet size, and therefore, the need for an adjustment by the operator. The "satellites" shown above can be eliminated simply by adjusting the vibration frequency or amplitude.*

Figura 41 Demonstração da verificação de uniformidade das partículas

### 8.1.7 Unidade de tratamento de ar

Duas unidades de tratamento de ar fabricadas pela TSI também foram encontradas. As unidades têm uma configuração semelhante com a da figura. Cada unidade conta com uma válvula de controle de vazão, um medidor de pressão, um desumidificador, e filtros.



Figura 42 Unidade de tratamento de filtro de ar

## 8.2 Cálculo da perda de carga

Para cálculo da perda de carga foi utilizado um esquema de bancada semelhante ao determinado nas normas ISO e SAE. Foram utilizadas então as dimensões determinadas pelas normas. As dimensões não determinadas foram estimadas.

### 8.2.1 Perda de carga distribuída

Utilizando a formulação encontrada (FOX, 1995, Capítulo 8.7) para perda de carga, tem-se que:

$$\frac{\Delta p}{\rho} = f \cdot \frac{LV^2}{D \cdot 2}$$

Onde:

$\rho$ : densidade do ar

$D$ : diâmetro da tubulação

$L$ : comprimento da tubulação

$V$ : velocidade média do ar =  $\frac{\text{vazão}}{\text{área}}$

$f$ : coeficiente de atrito (função do número de Reynolds e da rugosidade superficial)

Sabe-se que:

$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$  (FOX, 1995, Quadro A.3)

$D = 0,15 \text{ m}$

$L = 2,75 \text{ m}$  (soma dos comprimentos dos tubos com 0,15m de diâmetro)



Tem-se então que a velocidade média vai ser de:

$$V = \frac{4Q}{D^2 \cdot \pi}$$

Onde:

Q: vazão

D: diâmetro da tubulação

Tem-se que:

$$Q = 1.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = 0,15 \text{ m}$$

O que resulta em:

$$V \cong 15,71 \text{ m/s}$$

O número de Reynolds é dado por:

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{15,71 \times 0,15}{1,4 \cdot 10^{-5}} = 1,68 \times 10^5$$

Onde:

$\nu$ : coeficiente de viscosidade dinâmica do ar

D: diâmetro da tubulação

V: velocidade média do ar

Tem-se que:

$$\nu = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (FOX, 1995, fig A.3)}$$

Resulta em:

$$Re \cong 1,68 \times 10^5$$

Utilizando como material o aço, obtém-se que a rugosidade relativa da tubulação é de (FOX, 1995, Figura 8.15):

$$e/D = 0,0003$$

Logo, com os valores de  $Re$  e  $e/D$  vai ser obtém-se o valor de  $f$  utilizando-se dados encontrados (FOX, 1995, Figura 8.14):

$$f = 0,018$$

Logo, tendo-se todos os valores para o cálculo de  $\Delta p$ , chega-se à:

$$\Delta p = 56,29 \text{ Pa}$$

## 8.2.2 Perdas localizadas

### 8.2.2.1 Turbina

Para calcular a perda de carga na turbina, teremos:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot \left( \frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2$$

onde:

$\Delta P_2$ : queda de pressão na vazão  $Q$

$\Delta P_1$ : queda de pressão na vazão  $Q_{\max}$

Tomando-se a turbina de tamanho 6 polegadas (e de vazão máxima de  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ ) têm-se o valor da perda de carga como sendo:

$$\Delta P_2 = 1,5 \times \left( \frac{1000}{1000} \right)^2 = 1,5 \text{ mbar} = 150 \text{ Pa}$$

### 8.2.2.2 Filtro absoluto

Além da turbina, também vai ser considerada a perda de carga do filtro absoluto. Os dados do filtro absoluto foram retirados do catálogo da TROX Technik. O filtro selecionado, que suporta a vazão escolhida e filtra mais de que 99,97% das partículas é o modelo F781, código de tamanho 02. Tem-se que a vazão nominal para este filtro é de 1100 m<sup>3</sup>/h. Então, a perda de carga final recomendada vai ser de:

$$\Delta P = 6 \text{ mbar} = 600 \text{ Pa.}$$

No filtro, o tamanho externo é de 610 x 610 mm . Como o lado do filtro tem uma espessura de 20mm, então teremos uma área do pela qual se passa o ar de 570 x 570 mm. Este valor de área será utilizado mais adiante, quando as perdas de carga do difusor e do convergente do filtro absoluto forem calculadas.

### 8.2.2.3 Filtro ensaiado

Para a estimativa da perda de carga do filtro ensaiado, foi utilizado o valor da perda de carga de um filtro modelo EAPP 1002, do fabricante PWK. Para este filtro, a perda de carga quando a vazão é de 1000 m<sup>3</sup>/h é de:

$$\Delta P = 2200 \text{ Pa}$$

### 8.2.2.4 Difusor do filtro absoluto

Para se calcular as perdas de carga dos difusores, bocais e cotovelos da bancada, vão ser utilizados os valores tabelados do livro (IDELCHIK, 1994). No livro, vamos ter a seguinte fórmula geral para as perdas de carga localizadas:

$$\Delta p = \zeta \times \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Onde:

$\Delta p$ : perda de carga

$\rho$ : densidade do fluido

$w$ : velocidade média do fluido (vazão / área)

$\zeta$ : coeficiente de resistência (valor tabelado)

Sendo:

$\rho = 1,225 \text{ Kg/m}^3$  (FOX, 1995, Quadro A.3)

$w = 15,71 \text{ m/s}$ , conforme já calculado.

No difusor onde vai ser encaixado o filtro absoluto, vamos ter uma mudança de seção de um círculo de 150mm para um quadrado de 570mm de lado. Então, primeiramente utiliza-se o diagrama 5.28, que trata de difusores onde há mudança de seção de um círculo para um retângulo. No diagrama, tem-se a seguinte fórmula para determinar o ângulo equivalente de divergência  $\alpha$ :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\frac{2 \times a}{\sqrt{\pi}} - D}{2l}$$

Onde:

$a$ : lado da seção quadrada à jusante do difusor.

$D$ : diâmetro da seção cilíndrica à montante do difusor.

$l$ : comprimento do difusor.

Ao utilizar-se um comprimento  $l$  de 500mm, obtém-se um ângulo de divergência  $\alpha$  de:

$$\alpha = 52^\circ$$

Então, com este valor de  $\alpha$ , vai ser utilizando o diagrama 5 - 4, para se determinar o valor do coeficiente de resistência. Para este diagrama vão ser utilizados, além do valor de  $\alpha$ , os seguintes valores:

$n_{ar}$  = Divisão entre as áreas da seção maior pela menor = 18,38

$Re$  = número de Reynolds =  $1,26 \cdot 10^5$

Deste modo, encontra-se o valor tabelado de:

$$\zeta = 0,725$$

Então, utilizando a fórmula:

$$\Delta p = \zeta \times \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Obtém-se

$$\Delta p = 112,4 \text{ Pa}$$

### 8.2.2.5 Convergente do filtro absoluto

Para o convergente localizado a montante do filtro absoluto vai ser utilizado o diagrama 5.28 do livro para achar o ângulo de divergência equivalente. Utilizando um comprimento  $l$  de 500mm, vamos ter o formato do convergente igual ao formato do difusor do filtro absoluto. Então, tem-se o mesmo valor de  $\alpha$ :

$$\alpha = 52^\circ$$

Com o valor de  $\alpha$  estabelecido, vai ser utilizado o diagrama 5-23 para calcular-se a resistência do convergente. Para este diagrama, utiliza-se também o seguinte valor:

$n_0$ : divisão da área da seção menor sobre área da seção maior = 0,0544

Logo, utilizando os dados do gráfico 'a' tabela do diagrama 5.23, tem-se:

$$\zeta = 0,05$$

Então, utilizando a fórmula

$$\Delta p = \zeta \times \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Chega-se a:

$$\Delta p = 7,752 \text{ Pa}$$

### 8.2.2.6 Difusor do filtro a ser ensaiado

Para calcular a perda de carga na câmara universal, onde vai ser instalado o filtro a ser ensaiado, vai ser admitido que o filtro é o do fabricante Mann, código C34116/1, utilizado nos automóveis Vectra 2.0 / 2.2 CD GL.

Este filtro tem o formato retangular, e possui os comprimentos dos lados de 340mm e 206mm. Logo, a câmara para este filtro vai consistir em um difusor à montante do filtro e de um convergente a jusante do mesmo. Deste modo, vai ser utilizado o mesmo procedimento que se utilizou para o convergente e o difusor do filtro absoluto para o cálculo da perda de carga.

Primeiramente vamos utilizar o diagrama 5.28, onde temos a equação para determinar o ângulo equivalente de divergência  $\alpha$  :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\frac{2 \times \sqrt{a \times b}}{\sqrt{\pi}} - D}{2l}$$

Onde:

a, b: lados da seção retangular à jusante do difusor.

D: diâmetro da seção cilíndrica à montante do difusor.

l: comprimento do difusor.

Ao utilizarmos um comprimento l de 300mm, teremos um ângulo de divergência  $\alpha$  de:

$$\alpha = 28^\circ$$

Então, com este valor de  $\alpha$ , vai ser utilizando o diagrama 5 - 4, para se determinar o valor do coeficiente de resistência. Para este diagrama vão ser utilizados, além do valor de  $\alpha$ , os seguintes valores:

$$n_{ar} = \text{Divisão entre as áreas da seção maior pela menor} = 3,96$$

$$Re = \text{número de Reynolds} = 1,26 \cdot 10^5$$

Deste modo, vamos encontrar o valor tabelado de:

$$\zeta = 0,5$$

Então, utilizando a fórmula:

$$\Delta p = \zeta \times \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Tem-se:

$$\Delta p = 77,5 \text{ Pa}$$

### 8.2.2.7 Convergente do filtro a ser ensaiado

Para o convergente localizado a montante do filtro a ser ensaiado, vai ser utilizado o diagrama 5.28 do livro para achar o ângulo de divergência equivalente. Utilizando um comprimento  $l$  de 300mm, vamos ter o formato do convergente igual ao formato do difusor do filtro. Então, teremos o mesmo valor de  $\alpha$ :

$$\alpha = 28 \text{ graus.}$$

Com o valor de  $\alpha$  estabelecido, vai ser utilizado o diagrama 5-23 para calcular-se a resistência do convergente. Para este diagrama, utiliza-se também o seguinte valor:

$$n_0 = \text{divisão da área da seção menor sobre área da seção maior} = 0,252$$

Logo, utilizando os dados do gráfico 'a' tabela do diagrama 5.23, tem-se:

$$\zeta = 0,036$$

Então, utilizando a fórmula

$$\Delta p = \zeta \times \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Chega-se a:

$$\Delta p = 5,58 \text{ Pa}$$

### 8.2.2.8 Cotovelos

Um cotovelo é um elemento que vai mudar a direção do fluxo de 90 graus. Na bancada para teste de filtros, vão ser utilizados 2 cotovelos, a jusante e a montante da câmara universal. Para esta peça o diagrama a ser utilizado no (IDELCHIK, 1994) vai ser o diagrama 6-1. O diâmetro da tubulação do cotovelo vai ser de  $D = 0,15\text{m}$ , que é o diâmetro da tubulação da bancada. O raio de curvatura do cotovelo vai ser de 1,5 vez o diâmetro da tubulação, ou seja,  $R=0,225\text{m}$ .

No diagrama 6-1, temos que o valor de  $\zeta$  vai ser dado por:

$$\zeta = \zeta_{\text{loc}} + \zeta_{\text{fr}}$$

sendo:

$$\zeta_{\text{loc}} = A \cdot B$$

onde A e B são fatores dependentes da geometria do convergente:

$A = 1$  para um ângulo de mudança de direção de fluxo  $\delta = 90$  graus

$$B = 0,21 \times (R/D)^{-0,25} \quad \text{para } R/D > 1$$

Têm-se então que:



$$R/D = 1,5$$

$$B = 0,1897$$

Logo:

$$\zeta_{\text{loc}} = 0,1897$$

Tem-se também que:

$$\zeta_{\text{fr}} = 0,0175 \times \delta \times \lambda \times \frac{R}{D}$$

Onde já são conhecidos os valores de  $\delta$ ,  $R$  e  $D$ , e o valor de  $\lambda$  é de:

$\lambda = 0,018$  = coeficiente de atrito (calculado como  $f$  para a perda de carga distribuída).

Então se obtém que:

$$\zeta_{\text{fr}} = 0,0425$$

Logo, observa-se o valor de  $\zeta$  como sendo :

$$\zeta = 0,232$$

E a perda de carga para um cotovelo vai ser de:

$$\Delta p = 36,01 \text{ Pa}$$

Logo, a perda de carga para ambos os cotovelos vai ser de:

$$\Delta p = 72,02 \text{ Pa}$$

### 8.2.2.9 Entrada da tubulação

Para calcular a perda de carga na entrada da tubulação, vai ser utilizado o diagrama 3-1.

Para este diagrama, teremos que ter os seguintes valores:

$$\delta = \text{espessura da tubulação} = 1\text{ mm}$$

$$D = \text{diâmetro} = 150\text{ mm}$$

Então se tem o seguinte valor:

$$\delta/D = 0,00666$$

Com o valor de  $\delta/D$  determinado, utiliza-se à curva do diagrama 3-1 para determinar o valor de  $\zeta$ . Ter-se:

$$\zeta = 0,5$$

Então, a perda de carga vai ser de:

$$\Delta p = 77,52\text{ Pa}$$

### 8.2.2.10 Saída da tubulação

Para a saída da tubulação, vai ser utilizado o diagrama 11-1. Como se tem um regime turbulento na saída da tubulação, vai ser encontrado o seguinte valor para  $\zeta$ :

$$\zeta = 1,0$$

Então, a perda de carga na saída será de:

$$\Delta p = 155,05\text{ Pa}$$

### 8.2.2.11 Junção do fluxo do leito fluidizado com o fluxo principal

Na bancada, obtém-se a junção de dois fluxos quando se tem o fluxo de ar que contém o pó se juntando ao fluxo principal. Temos, na figura 1, esquematizada como é esta junção, aonde a vazão que vem do leito fluidizado foi chamada de  $Q_s$ , a que vem da linha principal chamada de  $Q_{st}$ , e a vazão na saída da junção de  $Q_c$ , conforme a nomenclatura (IDELCHIK, 1994).

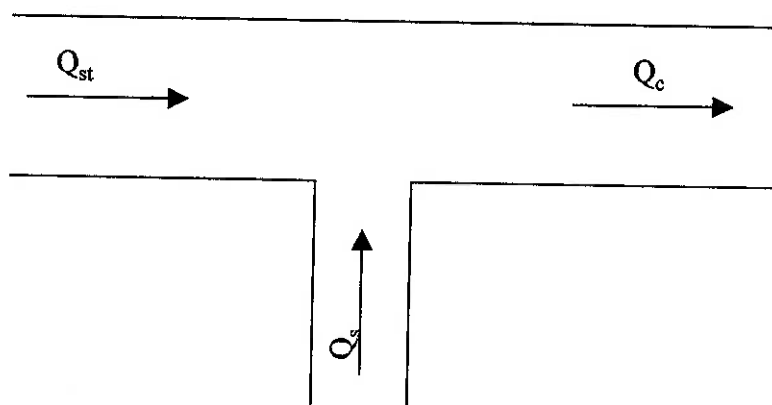


Figura 43 Esquema da junção de fluxos

Então, vai ser calculado qual a perda de carga no fluxo principal, que é a perda de carga entre os pontos 'c' e 'st'. Para isso, vai ser utilizado o diagrama 7-4. Neste diagrama, tem-se a seguinte equação:

$$\zeta \approx 1.55 \times \frac{Q_s}{Q_c} - \left( \frac{Q_s}{Q_c} \right)^2$$

Já é conhecido o valor de  $Q_c$ , que é de  $1000 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Supondo que o valor de  $Q_s$  é de:

$$Q_s = 100 \text{ m}^3 / \text{h},$$

Obtém-se

$$\zeta = 0,145$$

Então, a perda de carga vai ser de:

$$\Delta p = 22,48 \text{ Pa}$$

### **8.2.3 Perda de carga total**

Deste modo, tem-se calculadas as perdas de carga para todos os elementos da bancada. Somando-se todos os seus valores, chega-se ao valor da perda de carga total na bancada, que vai ser utilizado para se determinar qual o ventilador vai ser utilizado na mesma. Então, tem-se:

$$\Delta p = 3536 \text{ Pa} = 35,36 \text{ mbar}$$

### 8.3 Equipamentos

A seguir são apresentados alguns equipamentos que serão necessários para a operação da bancada. A análise das normas permite observar algumas características semelhantes em todas as bancadas:

- Balança
- Gerador de vazão
- Medidor de Vazão
- Filtro absoluto
- Injetor de pó
- Outros: medidores de pressão, tubulação, controlador de vazão, câmara universal, etc...

#### 8.3.1 Balança

Para se construir a bancada de teste de filtros de ar, é necessário, segundo a norma SAE, ter-se uma precisão de 0,01g na pesagem do filtro absoluto. Deste modo, torna-se necessário adquirir uma balança que possua a precisão de 0,01g na pesagem.

Foi então feita uma pesquisa entre diversos fabricantes de balanças para determinar qual fabricante teria a balança que atenderia melhor as necessidades do projeto. Deste modo, foram pesquisadas diversas balanças de diversos fabricantes, tendo como requisito básico à precisão na medida de 0,01g. Com esta precisão, foi procurada uma balança que tivesse a maior carga máxima possível, para esta precisão. Foi também pesquisado o preço da balança. Tem-se na Tabela XXIII a comparação entre as balanças dos diversos fabricantes.

Tabela XXIII Comparativo entre as balanças

Marca	Modelo	Precisão (g)	Carga Máxima (Kg)
Gehaka	BG - 4000	0,01	4
Mettler Toledo	PR 8002	0,01	8,1
Multi-Lab	V 200	0,01	0,2
Ohaus	E0D 120	0,01	4,1
Ciola & Gregori	XL 3100	0,01	3,1
Marte	AS 2000	0,01	2
SNUG	Snug 300	0,01	0,3

O modelo escolhido foi o balança do fabricante Gehaka, modelo BG - 4000.

Como características da balança, tem-se:

- Carga Máxima 4.000g
- Resolução 0,01g
- Temperatura Operação 0 a 40°C
- Repetibilidade  $\pm 0,01g$
- Linearidade  $\pm 0,01g$
- Dimensões Prato 152 mm
- Tempo de Medida 0,5 a 4 seg
- Ajuste da rede 95 a 235 VAC Automática
- Frequência 50 / 60 Hz
- Consumo 6 Watts
- Dimensões Totais 254x290x140 mm
- Peso 5,2 Kg

## 8.4 Injetor de pó

O injetor de pó deverá liberar o pó para a bancada de modo uniforme durante a realização do teste. Ele não pode liberar mais pó em um determinado período e menos em outro e não deve também estratificar o pó de teste liberando somente a parte fina ou a parte grossa.

Nos equipamentos disponíveis observados no item 8.1 observa-se que existe um gerador de leito fluidizado, porém a granulometria do pó de trabalho do equipamento não se encontra dentro da faixa necessária.

Para injeção de pó existem pelo menos três possibilidades de execução:

- Leito fluidizado
- Injetor de pó descrito na norma ISO e SAE (Injetor ISO/SAE)
- Injetor de terceiros

Discutiu-se a utilização do gerador de leito fluidizado e do injetor ISO/SAE. Optou-se pela geração de leito fluidizado. A construção do injetor ISO/SAE aparentou ter um princípio de funcionamento rústico.

A opção do leito fluidizado parece razoável porém alguns problemas técnicos podem surgir como por exemplo se a tela de retenção do pó não conseguir segura-lo.

A opção de utilização de um injetor de terceiros será observada caso os problemas técnicos na injeção de pó não sejam resolvidos.

## 8.5 Medidor de vazão

Para a medição de vazão primeiramente havia se cogitado a utilização de bocais porém no decorrer do projeto optou-se pela utilização de uma turbina.

A turbina selecionada no catálogo disponível foi a INSTRUMET Q-75 de diâmetro interno de 150 mm (6 polegadas) e vazão máxima de 1000 m<sup>3</sup>/h.

O catálogo das turbinas se encontra anexo.

### **8.6 Filtro absoluto**

Para a utilização na bancada era necessária a utilização de um filtro final que reteria o pó que passasse pelo filtro ensaiado. Na norma já era especificada a utilização de um filtro absoluto. Foram então determinadas as dimensões do filtro e seleção do mesmo no catálogo. O filtro selecionado foi um TROX modelo F781 código de tamanho 2 ou equivalente. O catálogo se encontra anexo.

### **8.7 Gerador de vazão**

Foi selecionado um ventilador de acordo com os números obtidos no item 8.2. O ventilador selecionado é o da OTAM modelo RFS150. O catálogo dos ventiladores e encontra anexo.

### **8.8 Outros**

Outros itens não mencionados serão definidos quando da sua fabricação ou dependendo da disponibilidade da empresa construtora da bancada.

A tubulação selecionada é de diâmetro interno 150mm (6 polegadas) de aço com espessura de parede de 1mm.



## 9 DISCUSSÃO

Durante a realização do trabalho houve diversas mudanças de foco na medida em que novos materiais foram sendo encontrados e analisados. Primeiramente havia sido focada a construção de uma bancada de teste de filtros para ar condicionado de aviões. Não era de conhecimento, entretanto, qual era o filtro utilizado no ar condicionado dos aviões e partiu-se da análise de normas de filtros de ar de uso geral.

Posteriormente descobriu-se que os filtros utilizados eram os chamados absolutos ou HEPA que, devido ao tamanho de partículas que o filtro consegue capturar (submicron), não utilizaria o método descrito nas normas de filtros de ar para uso geral.

Iniciou-se uma nova frente paralela a primeira para o estudo da metodologia de ensaio dos filtros HEPA. A norma de ensaio foi encontrada e analisada e constatou-se que o ensaio era feito utilizando-se DOP (DiOctyl Phthalate). Aqui cabe uma ressalva que o DOP é considerado um produto cancerígeno.

Uma nuvem de aerossol deveria ser gerada e passada pela bancada para o ensaio do filtro absoluto. Haveria algumas complicações técnicas como por exemplo o modo de garantir que todo o DOP utilizado não saísse da bancada ou da sala de teste, equipamentos de segurança para garantir a saúde dos operadores e do pessoal nas proximidades da área de teste. Além das complicações técnicas a norma se apresenta mais como um manual de operação de uma bancada já construída do que um guia para a construção de uma nova bancada.

Para a geração observou-se a existência do equipamento analisado no item 8.1 nas instalações do IPT. O equipamento doado pela CETESB, como citado anteriormente, não se apresentava com todos os seus manuais, embalagens e cabos originais. Um teste simples, energização do equipamento e ligação na linha de ar comprimido demonstrou que aparentemente eles estavam funcionando. Havia entretanto o problema relacionado aos cabos e tubulações de ligação que estavam ausentes e do material a ser empregado na geração do aerossol.

Houve então uma discussão de como seria gerado o aerossol e como seria construída a bancada que seria utilizada para os filtros absolutos. A retenção do material de teste, o pó, durante e após o ensaio demonstrou ser um problema devido a sua granulometria.

Nesse meio tempo houve a participação em um grupo de estudo coordenado entre ABNT, fabricantes de filtros e empresas aeronáuticas para a elaboração de uma norma para os filtros de ar condicionado de avião. Sem resultados até a confecção do trabalho.

Devido à complexidade de se trabalhar com a granulometria requerida e a verificação do funcionamento do equipamento gerador de aerossol decidiu-se por suspender os trabalhos no ensaio de filtros absolutos. O material compilado foi incluído no trabalho porém partiu-se para o estudo do ensaio de filtros automotivos. Foi selecionada a norma ISO/SAE para a construção da bancada pois o método ótico aparentava ser por demais impreciso.

Foram levantados os materiais necessários incluindo o pó padrão especificado pela ISO/SAE. Foi constatado que esse não é vendido no Brasil sendo necessária sua importação.

A consulta às montadoras sobre as características dos filtros utilizados foi infrutífera com respostas negativas as requisições de informações ou “jogo de empurra-empurra”.

Foi feito um levantamento quanto às dimensões dos filtros automotivos nos sites dos fabricantes e em alguns veículos disponíveis e assim conseguiu-se as dimensões de alguns filtros que poderiam ser testados na bancada. Essas dimensões foram utilizadas para o projeto preliminar da bancada.

Foi realizado um projeto preliminar com os dados conseguidos durante as fases anteriores do trabalho acrescentado da seleção de um ventilador, turbina, filtro absoluto e discussão e seleção de um injetor de pó.

Os dados obtidos foram repassados ao IPT que estudará a viabilidade de sua construção e oferecimento de serviço nessa área.

Como sugestão de continuidade têm-se os seguintes passos:

- Estudo de geração de material particulado para utilização em testes definidos nas normas ISO 5011 e SAE J726. O material tem sua composição química e granulometria como especificada na ISO 12103.
- Estudo do ensaio de filtros absolutos (HEPA).
- Estudo e montagem do equipamento gerador aerossol encontrado. Pode ser feita a utilização do material encontrado para o ensaio dos filtros absolutos.

## **10 CONCLUSÕES**

Apresenta-se aqui o resultado tanto do trabalho escrito final quanto das ações para a execução do mesmo.

### **10.1 Geral**

Durante a execução do projeto pôde-se observar alguns dos problemas normais encontrados durante um trabalho de engenharia. As mudanças de rumo tomadas devido a novas informações obtidas, problemas técnicos, prazo existente ilustraram bem as dificuldades encontradas num projeto de engenharia.

A interação com o pessoal do Instituto de Pesquisas Tecnológicas foi de grande valia no sentido de se ter uma visão das atividades desenvolvidas pelo instituto na área de engenharia.

### **10.2 Metas**

A seguir são apresentadas as conclusões do que foi atingido segundo as metas propostas.

#### **10.2.1 Estudo dos filtros de ar utilizados**

Foram levantados diversos tipos de filtros de ar assim como suas aplicações. Existem outras aplicações e outros tipos de filtros de ar que podem ser observados em catálogos obtidos anexos ao trabalho. A escolha dos citados no trabalho foi norteadada pelas normas selecionadas.

#### **10.2.2 Estudo e seleção das normas**

As normas selecionadas foram as que primeiro dirigiram o trabalho ou que foram citadas em alguma referência utilizada. Deve-se acrescentar a existência de outras normas que regulamentam o mesmo tema ou variações deste. Devido a variedade de normas encontradas teve que se impor um limite no número de normas analisadas e

utilizadas pois, de outro modo devido a restrições de prazos e cronograma, o trabalho poderia se compor somente da análise das diversas normas encontradas.

### **10.2.3 Definição das características da bancada**

Com a definição da norma a ser utilizada pode-se caracterizar funcionalidades que deveriam existir na bancada. Esse passo se apresenta como intermediário entre o anterior e o seguinte.

### **10.2.4 Projeto preliminar da bancada**

No projeto preliminar coube a execução de cálculo e estimativa de medidas não encontradas nas normas. Os cálculos e as normas possibilitaram a seleção dos equipamentos acessórios à bancada. O detalhamento fica a critério do possível construtor da bancada.

## **10.3 Final**

Pode-se considerar que as metas propostas foram atingidas. Os problemas encontrados estão relacionados na parte de discussões juntamente com os próximos passos para uma continuação do projeto. Os dados obtidos foram todos repassados para o IPT que esta estudando a viabilidade de sua construção.

## 11 LISTA DE REFERÊNCIAS

### 11.1 Livros

- I. AUSTIN, Philip R. **Austin's Clean Rooms of the World**. Michigan, Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1967.
- II. CADLE, Richard D. **Particle Size**. Boulder, National Center for Atmospheric Research. Nova Iorque, Reinhold Publishing Corporation, 1965.
- III. FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1995.
- IV. GORDON, Grigoriæi Mikhaëilovich; PEISAKHOV, I. **Dust Collection and Gas Cleaning**. Moscou, Mir Publishers, 1972.
- V. IDELCHIK, I. E.; **Handbook of hydraulic resistance**. Moscou, CRC Press, 1994.
- VI. KAMINSKI, Paulo Carlos. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Universidade de São Paulo, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.

### 11.2 Papers

- VII. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Padrões de Qualidade do Ar**. São Paulo, 2001. Disponível em:  
<[http://www.cetesb.sp.gov.br/InformacoesAmbientais/Qualidade\\_do\\_ar/padroes\\_ar.htm](http://www.cetesb.sp.gov.br/InformacoesAmbientais/Qualidade_do_ar/padroes_ar.htm)> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- VIII. COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA - CTNBio. **Normas sobre classificação dos experimentos com vegetais geneticamente modificados quanto aos níveis de risco e de contenção**. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, Publicado no D.O.U. de 06.03.97, Seção I, pág. 4.299. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/legis/outros\\_atos/in6\\_97.htm](http://www.mct.gov.br/legis/outros_atos/in6_97.htm)> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- IX. COLLEGE OF ENGINEERING – UNIVERSITY OF WASHINGTON. **Clean Rooms**. Seattle, 2001. Disponível em:  
<<http://www.engr.washington.edu/~cam/PROCESSES/cleanroomspdf.html>> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- X. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)**. Washington D.C., 2001. Disponível em:  
<<http://www.epa.gov/airs/criteria.html>> Acesso em: 02 Dezembro 2001.

- XI. HUNT, Elwood H.; SPACE, David R. **The Airplane Cabin Environment: Issues Pertaining to Flight Attendant Comfort**. Montreal, International In-flight Service Management Organization Conference, 1994. Disponível em: <<http://www.boeing.com/commercial/cabinair/ecs.pdf>> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XII. HUNT, Elwood H.; REID, Don H.; SPACE David R.; TILTON Fred E. **Commercial Airliner Environmental Control System: Engineering Aspects of Cabin Air Quality**. Anaheim, Aerospace Medical Association Annual meeting, 1995. Disponível em: <<http://www.boeing.com/commercial/cabinair/ventilation.pdf>> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XIII. NATIONAL CLEANROOMS. **Terminology**. Hialeah, 2001. Disponível em <<http://clean-rooms.com/defin.htm>> Acesso em 02 Dezembro 2001.

### 11.3 Normas

- XIV. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, Inc. **Gravimetric and Dust-Spot Procedures for Testing Air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter - ASHRAE 52.1-1992**. Atlanta, 1992.
- XV. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações Centrais de Ar Condicionado: Parâmetros Básicos de Projeto - NBR 6410 (antiga NB10)**. Rio de Janeiro, 1978.
- XVI. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Particulate air filters for general ventilation - EN EN779**. Bruxelas, 1993.
- XVII. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors - Performance Testing - ISO 5011 First Edition 1988-12-15**. Suíça, 1988.
- XVIII. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Road Vehicles - Test dust for filter evaluation - ISO 12103 First Edition 1997-12-15**. Suíça, 1997.
- XIX. OFFICE OF THE ASSISTANT SECRETARY OF DEFENSE. **Military Standard. Filter Units, Protective Clothing, Gas-Mask Components and Related Products: Performance Test Methods - MIL STD-282**. Washington, 1995.
- XX. SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, Inc. **Surface Vehicle Recommended Practice: Air Cleaner Test Code - SAE J726 rev. JUN93**. Warrendale, 1993.

## 11.4 Outros

- XXI. APC FILTRATION INC. **HEPA & ULPA Filters History**. Ontario, 1988. Disponível em: <[http://www.vacfilters.com/HEPA\\_Filters.html](http://www.vacfilters.com/HEPA_Filters.html)> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XXII. Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira - edição 2000**. São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/Index.html>> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XXIII. BOSCH DO BRASIL. **Filtros: Linha Completa**. São Paulo, 2001. Disponível em: <[http://www.bosch.com.br/br/autopecas\\_c/catalogos/index.html](http://www.bosch.com.br/br/autopecas_c/catalogos/index.html)> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XXIV. FILTROS MANN. **Cátalogo de produtos e aplicações**. Indaiatuba, 2001. Disponível em: <<http://www.filtrosmann.com.br/>> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XXV. PUROLATOR PRODUCTS CO. **Air Filters**. Brentwood, 2000. Disponível em: <<http://www.pureoil.com/air.htm>> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XXVI. POWDER TECHNOLOGY INCORPORATED. **History of Test Dust**. Burnsville, 2001. Disponível em: <[http://www.powdertechnologyinc.com/new\\_page\\_7.htm](http://www.powdertechnologyinc.com/new_page_7.htm)> Acesso em: 02 Dezembro 2001.
- XXVII. TSI INCORPORATED PARTICLE INSTRUMENTS. **Products Descriptions**. St. Paul, 2001. Disponível em: <<http://www.tsi.com>> Acesso em 02 Dezembro 2001.
- XXVIII. TSI INCORPORATED PARTICLE INSTRUMENTS. **Powder Dispersers: Rugged, reliable instruments for powder deagglomeration and dispersion**. St. Paul, 1998.
- XXIX. TSI INCORPORATED PARTICLE INSTRUMENTS. **Model 3450 Vibrating Orifice Aerosol Generator**. St. Paul, 1996.
- XXX. TSI INCORPORATED PARTICLE INSTRUMENTS GROUP. **New Ideas in Particle Research**. St. Paul, 1999.



# Anexos

**POWDER  
TECHNOLOGY  
INCORPORATED**

**P.O. BOX 1464, BURNSVILLE, MINNESOTA 55337  
PHONE: (952) 894-8737 FAX: (952) 894-0734**

**PRODUCT LIST PP2G1  
ISO 12103-1 ARIZONA  
TEST DUST CONTAMINANTS  
FINE AND COARSE GRADES**

**TYPICAL CHEMICAL ANALYSIS**

<u>Chemical</u>	<u>% of Weight</u>	<u>Chemical</u>	<u>% of Weight</u>
SiO <sub>2</sub>	68 - 76	CaO	2 - 5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 - 15	MgO	1 - 2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 - 5	TiO <sub>2</sub>	0.5 - 1.0
Na <sub>2</sub> O	2 - 4	K <sub>2</sub> O	2 - 5
Loss on Ignition 2 - 5			

**ISO TEST DUST PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS BY VOLUME %**

<u>Size in Microns</u>	<b>ISO 12103-1, A2</b>	<b>ISO 12103-1, A4</b>
	<u>Fine Grade % Less Than</u>	<u>Coarse Grade % Less Than</u>
1	2.5 - 3.5	.6 - 1
2	10.5 - 12.5	2.2 - 3.7
3	18.5 - 22.0	4.2 - 6.0
4	25.5 - 29.5	6.2 - 8.2
5	31.0 - 36.0	8.0 - 10.5
7	41.0 - 46.0	12.0 - 14.5
10	50.0 - 54.0	17.0 - 22.0
20	70.0 - 74.0	32.0 - 36.0
40	88.0 - 91.0	57.0 - 61.0
80	99.5 - 100	87.5 - 89.5
120	100	97.0 - 98.0
180		99.5 - 100
200		100

**PACKAGING OPTIONS AND COST**

<u>Container</u>	<b>ISO FINE (3.5 kg/jar) \$/Container</b>	<b>ISO COARSE (4.5 kg/jar) \$/Container</b>
4 Liter Jar, 1 - 5 jars	\$45.00	\$45.00
4 Liter Jar, 6 - 23 jars	\$40.00	\$40.00
4 Liter Jar, 24 - 51 jars	\$37.00	\$37.00
4 Liter Jar, 52+ jars	\$35.00	\$35.00
120 Liter Drum	\$1030.00	\$1030.00
220 Liter Drum	\$1840.00	\$1840.00

**NOTE:**

- 1) Orders less than \$200.00 are subject to a \$20.00 handling fee
- 2) Prices are in U.S. Dollars
- 3) Each shipment will contain a minimum number of batches
- 4) Typical batch size is 4000 pounds
- 5) Each batch shipped with particle size distribution as analyzed with a Coulter Multisizer IIe
- 6) F.O.B. - Shipping Point
- 7) Prices are subject to change without notice.

03/2000

**POWDER  
TECHNOLOGY  
INCORPORATED**

**PRODUCT LIST PP7C1  
ISO 12103-1 ARIZONA  
TEST DUST CONTAMINANTS  
ULTRAFINE & MEDIUM GRADES**

**P.O. Box 1464, Burnsville, Minnesota 55337  
Phone: (952)-894-8737 Fax: (952)-894-0734**

Typical Chemical Analysis is the same as Standardized Arizona Test Dust Contaminant Fine & Coarse Grades.

**ISO 12103-1, A1 ULTRAFINE TEST DUST**

ISO Ultrafine Test Dust is sold in 500 gram quantities. Packaging will be customized to accommodate quantity ordered.

Cost

\$42.00/500 grams

**ISO 12103-1, A3 MEDIUM TEST DUST**

<u>Packaging</u>	<u>Net Weight/Jar</u>	<u>Cost</u>
4 Liter Jar	3.5 kg	\$ 52.00/jar

ISO TEST DUST PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS

<u>SIZE</u> <u>MICROMETER</u>	<u>VOLUME % SMALLER THAN</u>	
	<u>ISO 12103-1,A1</u> <u>ULTRAFINE</u>	<u>ISO 12103-1,A3</u> <u>MEDIUM</u>
1	1 - 3	1 - 3
2	9 - 13	4.0 - 5.5
3	21 - 27	7.5 - 9.5
4	36 - 44	10.5 - 13.0
5	56 - 64	15 - 19
7	83 - 88	28 - 33
10	97 - 100	40 - 45
20	100	65 - 69
40		84 - 88
80		99 - 100
120		100

**NOTE:** 1) Orders less than \$200.00 are subject to a \$20.00 handling fee.

2) Prices are in U.S. Dollars

3) Each shipment will include particle size distribution as analyzed with a Coulter Multisizer IIe

4) F.O.B. - Shipping Point

5) Prices are subject to change without notice

03/2000.



# Circle Feeder





The image shows two large, industrial-grade Circle Feeders. Each feeder consists of a large, conical hopper at the top, a wide circular discharge ring in the middle, and a heavy-duty motorized base. The hoppers are painted a light blue-grey, while the discharge rings and bases are a darker grey. The machines are positioned on a concrete floor with yellow safety lines. The background shows the interior of a large industrial building with high ceilings and structural beams.

**Sludgy,  
Fibrous,  
Rigid,  
Waxy,  
Tacky,  
Lumpy,  
Fluffy,  
Flaky,  
Arching,  
etc. ...**

***If your product is difficult to meter, the Circle Feeder's unique operating principle provides reliable, accurate feeding where others fail.***



## The Circle Feeder™ Principle

The patented Circle Feeder is a unique device that accurately meters poorly flowing materials from bins or hoppers. Flat, slowly rotating vanes **1** cause radial flow of material under an adjustable annular ring **2**. Peripheral rotary vanes **3** convey this material toward one or more discharge ports **4**.

### Accurately Metered Flow

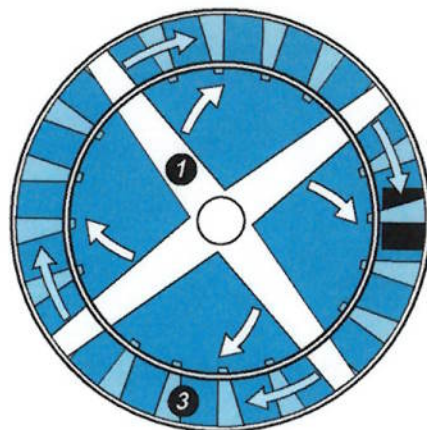
Large flow rate changes can be achieved by raising or lowering the annular ring while accurate metering is obtained through varying rotation speed. Load cells and digital controls are added for loss-in-weight applications where highly accurate mass flow must be maintained. The simple design allows for virtually complete discharge and mass flow.

### Benefits

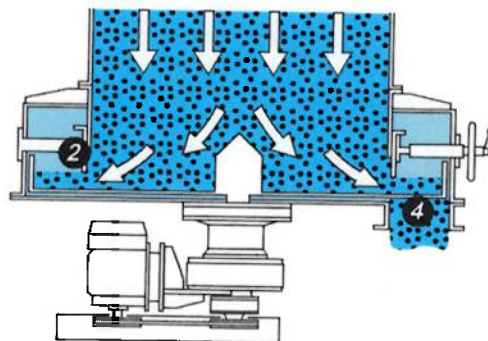
The Circle Feeder's large inlet easily exceeds most material's critical arching diameter. This, along with well distributed mass flow around the circumference, eliminates the formation of a stable arch and the resulting flow disruption.

In addition, new installations require less height because of the Circle Feeder's low profile and large inlet diameter, which reduces silo/hopper cone height. In some cases, the cone is totally eliminated.

The Circle Feeder's simple design and slow rotational speed assure quiet operation and low maintenance.



Top view



Cross-section view

## Applications

### Chemicals

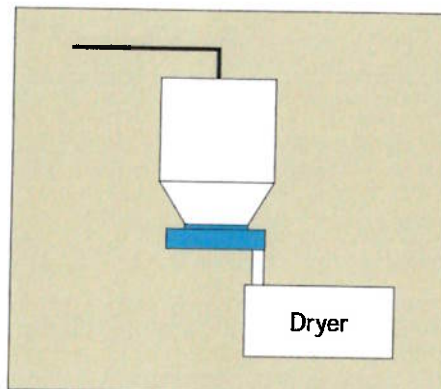
Chemical intermediates  
Inorganic salts  
Polymer flakes and powders  
Soap powders and ingredients  
Pigments  
Resin flakes  
Fertilizer components  
Ink

### Food/Feed

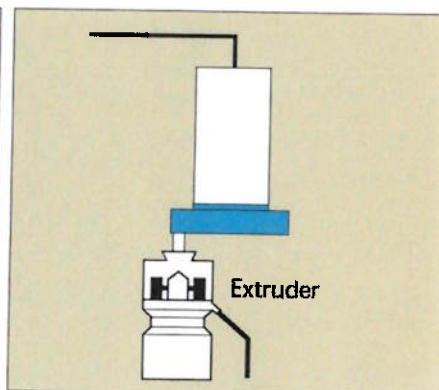
Corn, rice, potato starches  
Corn, soybean, wheat flours  
Residual vegetable cuttings and pulp  
Minced meat  
Seed hulls and components  
Fermented products  
Seasonings

### Other

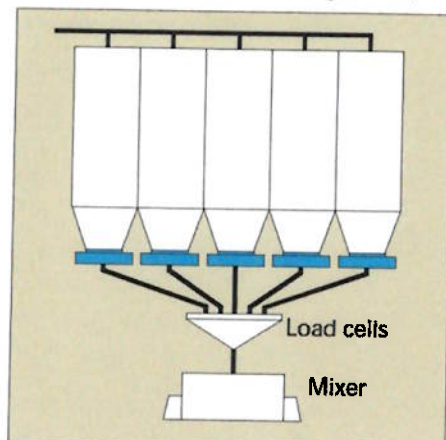
Carbon black  
Sewage sludge  
Metallic powders  
Recycled plastic/paper flakes and grind  
Cellulose derivatives  
Fibers  
Paper pulp  
Cement



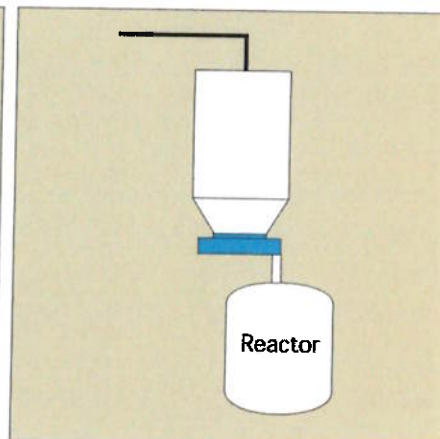
To dryer (compactor dehydrator)



To extruder



To scale / mixer



To reactor

## Design Choices

Circle Feeders have been built for a wide variety of uses and can be designed to suit exacting requirements. Special configurations have been engineered for the following applications:

- Sanitary
- Smooth/Precision feeding
- Loss-in-weight control
- High precision batch weighing
- High temperature
- High wear
- Applications requiring wash down or airtight construction
- Applications requiring explosion-proof construction
- Laboratory / low rate feeding



**Standard** designs are constructed of carbon steel or 304 stainless steel. Other materials are available on request.



**High precision feeding** can be achieved a number of ways. This system features a smaller Circle Feeder on the discharge port of a larger Circle Feeder for extra control of feed rate.



**High temperature** designs can handle materials up to 660° F (350° C).



**Sanitary** designs feature high internal polishing and hinged or lift-type upper case for cleaning access.



**Containerized** designs allow quick change-out of feeders to accommodate different product streams without the need for cleaning.



**Loss-in-weight control** is achieved by monitoring the weight of the material being discharged and automatically adjusting the rotation speed to achieve the desired rate.

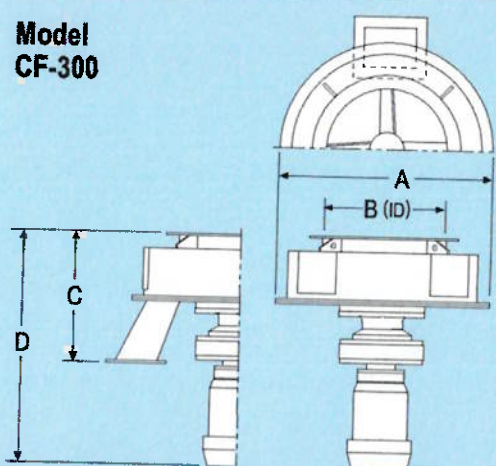


**Laboratory** sized units (Mini-Ace) are designed for table-top use and incorporate all controls needed for operation.

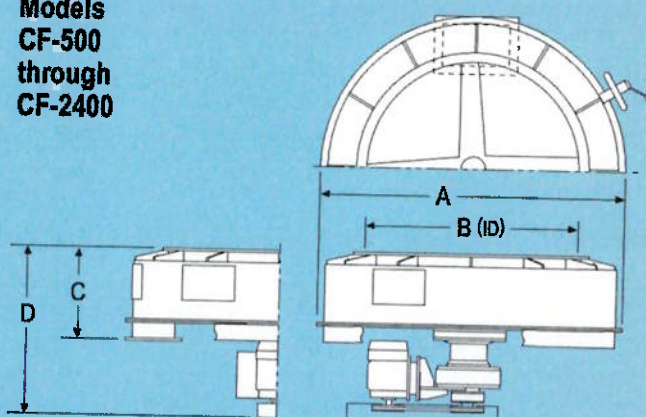


# Specifications

**Model  
CF-300**



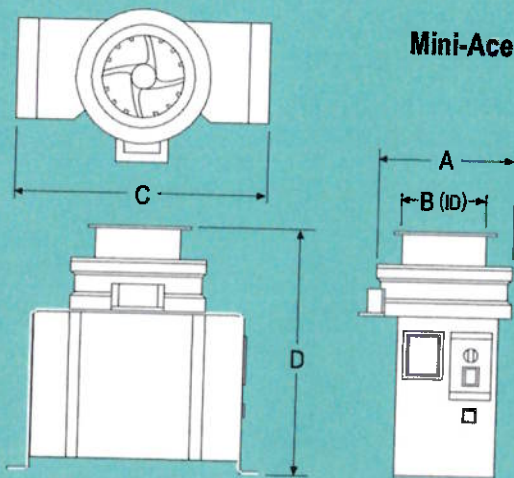
**Models  
CF-500  
through  
CF-2400**



Model			CF-300	CF-500	CF-700		CF-1000		CF-1200		CF-1400		CF-1600		CF-1800		CF-2000		CF-2400 <sup>2</sup>		
Discharge Type <sup>1</sup>					A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Max. Capacity	m <sup>3</sup> /h CFM	Number of Discharge Ports <sup>3</sup>	1	1 0.59	2.8 1.7	6.2 3.7	16 9.4	12 7.1	27 16	17 10	38 22	25 15	49 29	29 17	55 32	36 21	65 38	40 24	79 47	58 34	115 68
			2										40 24	79 47	47 28	89 52	59 35	105 62	65 38	126 74	93 55
Min. Capacity <sup>4</sup>	m <sup>3</sup> /h CFM	Number of Discharge Ports <sup>3</sup>	1	0.1 0.06	0.9 0.5	1.8 1.1	6.6 3.9	2.6 1.5	10 5.9	3 1.8	11 6.5	4.5 2.7	18 11	6 3.5	19.5 12	6.4 3.8	21 12	7.3 4.3	23 14	8.9 5.2	39 23
			2									7 4.1	28 17	9.5 5.6	31 18	11 6.5	33 19	12 7.1	36 21	15 8.8	62 37
Motor Capacity KW			0.2	0.75	0.75	1.5	1.5	2.2	2.2	3.7	2.2	3.7	3.7	5.5	3.7	5.5	5.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Max. Rotation Speed rpm			6	7.2	6.3	6.3	5.6	5.6	5	5	4.5	4.5	4.1	4	3.4	3.4	3.2	3.2	2.7	2.7	2.5
Dimensions mm	A		524	826	1076	1176	1426	1526	1626	1776	1900	2050	2150	2300	2400	2550	2650	2800	3150	3350	
	B		300	500	700	700	1000	1000	1200	1200	1400	1400	1600	1600	1800	1800	2000	2000	2400	2400	
	C		318	325	370	450	430	500	490	550	575	620	580	625	625	690	625	730	700	815	
	D		528	615	660	800	780	900	890	1000	1005	1100	1060	1105	1105	1200	1135	1280	1330	1475	
Weight	kg lb		90 198	270 595	380 838	410 904	520 1146	660 1455	700 1543	870 1918	1030 2271	1250 2756	1260 2778	1570 3461	1620 3571	1800 3968	2020 4453	2330 5137	2760 6085	3300 7275	

1. B-type discharge openings are sometimes used for light, fluffy materials
2. Larger sizes can be provided
3. Additional ports can be attached as required
4. Minimum capacities represent use of variable speed drive and minimum annular ring opening

**Mini-Ace**



Model		MA-120	MA-180	MA-260
Feeding Capacity ml/min		40-400	70-700	100-1000
Rotation Speed		0.9-9 rpm		
Motor Capacity		40 w, Variable Speed		
Power		110v, 60 Hz		
Contact Materials		SUS 304		
Dimensions mm	A	196	264	350
	B	120	180	260
	C	360	420	470
	D	365	365	365
Weight kg lb		16	20	30
		35	44	66



## Services

**Testing.** In our Test Center we can perform metering tests for confirming scaleup and process specifications. Capabilities include data acquisition and computer analysis, and hazardous material handling.

**Engineering.** LCI can supply hoppers and outlet subsystems as needed to accommodate your requirements.

**Support.** LCI provides parts and service support for all products we sell. You can reach our support staff 24 hours a day, seven days a week.

## Other Products

LCI also provides products for pelleting powders and other materials, and for spheronizing powders. Low pressure extrusion systems are beneficial for end-use products where dispersion, dissolution, low dust levels, and shape are important. Medium to high pressure pelleting systems are appropriate for materials which naturally compact or where a hard or especially dense product is needed.

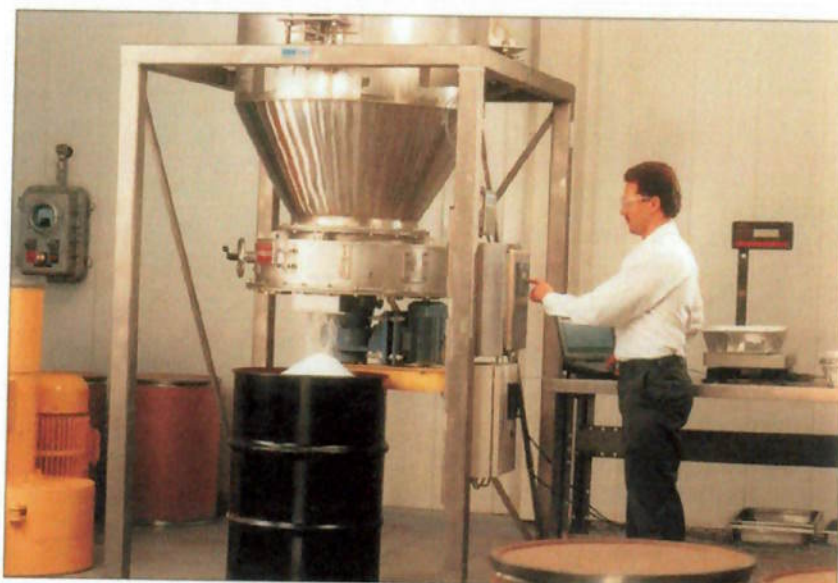
The patented Circle Feeder is manufactured by Yoshikawa Corporation of Japan.

Low pressure extruders and the Marumerizer are manufactured by Fuji Paudal of Japan.

The Pellet Press is manufactured by Amandus Kahl of Germany.



LCI Corporation  
PO Box 16348, Charlotte, NC 28297  
Tel: 704-394-8341  
Fax: 704-392-8507  
www.lcicorp.com



*LCI's Test Center is staffed and equipped to test the feasibility of feeding your product with the Circle Feeder.*



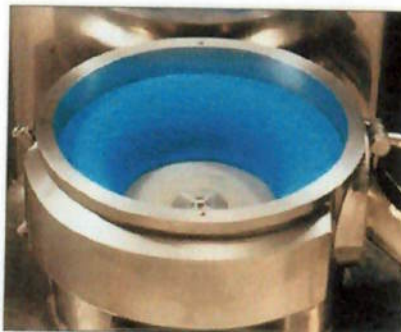
*LCI granulation products can produce small, uniform granules like these.*



*The Twin Dome™ Granulator provides high capacity, low pressure extrusion of powders.*



*The Pellet Press is used for medium to high pressure extrusion.*



*The Marumerizer™ transforms pellets into smooth, uniform spheres.*



*Mixers and kneaders provide the proper powder/liquid mixture for subsequent extrusion.*

# TROX® TECHNIK

## Filtros Plissados

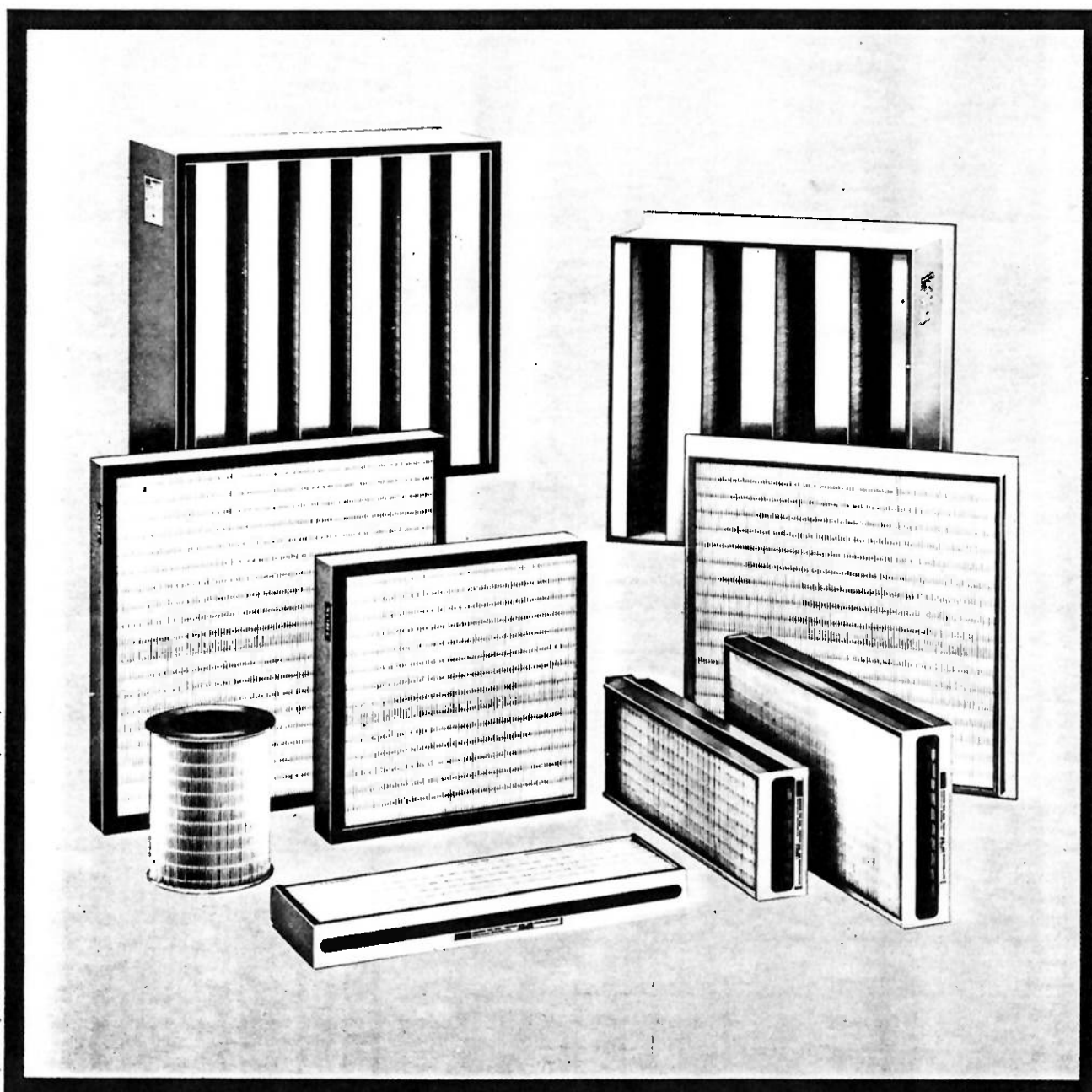
Os filtros plissados são filtros de alta eficiência, destinados à retenção de partículas, aerossóis, poeiras tóxicas, vírus, bactérias etc., no ar de insuflamento ou de exaustão. Aplicam-se em locais onde se requer longa durabilidade e pouco espaço de instalação.

Diferentes tipos e modelos.

- Filtros finos para poeira.
- Elementos filtrantes plissados.
- Painéis filtrantes plissados.
- Filtros absolutos plissados.
- Filtros plissados especiais.

Meio filtrante em papel especial de alta qualidade, resistente à umidade.

- Teste de Tipo conforme EUROVENT 4/5 ou 4/4 e DIN 24.184 ou 24.185. Classes de filtros finos de F1 até F3 e classe de filtros absolutos de A1 até A3 (Tipos EU6 e EU9 segundo EUROVENT e Q, R, S segundo DIN).
- Teste de penetração de D.O.P. individual para filtros absolutos.



# Descrição

## Filtros Plissados

Os filtros plissados se caracterizam por uma ótima relação entre o tamanho do filtro, vazão nominal, diferença de pressão, capacidade de acumulação de pó e tempo de durabilidade.

Dependendo da forma construtiva, pode-se reduzir a superfície de passagem do ar ou a espessura do filtro.

### Tipos de execução e classes de filtros

- Filtros finos plissados para montagem nas molduras ou estruturas de filtros de bolsas já existentes.  
Classes F1, F2 e F3 conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10). Eficiência conforme teste colorimétrico ASHRAE 52-76 de 63% a 95%.
- Filtros absolutos tipo painel, plissado, em dimensões standard e espessuras reduzidas de 30 a 78 mm. Classes A1 e A3 conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10). Eficiência conforme teste D.O.P. de >92% e > 99,97%.

- Filtros absolutos plissados, em 'V' com profundidade padrão de 292 mm e dimensões standard para grande volume de ar.  
Classes A1 e A3 conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10). Eficiência conforme teste D.O.P. de >92% e > 99,97%.

- Filtros especiais plissados, com exigências especiais, tais como na indústria de informática, podem ser estudados e fabricados sob consulta.

### Meios Filtrantes

Utilizam-se papéis filtrantes de celulose, e papel de fibra de vidro, com diferentes graus de filtragem e separação, e com sua composição e execução de acordo com as exigências de umidade e temperatura.

Os meios filtrantes são colocados de forma plissada, com pregas estreitas e de pouca profundidade. A distância entre elas se mantém uniforme devido ao fio têxtil que além da função de distanciador proporciona grande resistência estrutural.

## Moldura do filtro

Dependendo do tipo de aplicação e fabricação dos filtros plissados, podem existir diferentes materiais para as molduras, tais como:  
Madeira aglomerada ou compensada com seladora, chapa galvanizada, alumínio, aço inoxidável.

## Juntas de estanqueidade

- Os filtros absolutos plissados em 'V' e os filtros plissados, tipo painel, são dotados em uma das faces de moldura, de uma junta de neoprene, que garante a estanqueidade entre o filtro e a estrutura de montagem.

Juntas em ambos os lados, poderão ser fornecidas sob consulta.

- Os filtros finos plissados são fornecidos sem junta de vedação, que esta já existe nas molduras de montagem dos filtros de bolsas.

Estes filtros podem ser instalados em todas as estruturas e molduras para filtros de bolsas existentes no mercado.

## Embalagem

Todos os filtros plissados são embalados em caixas de papelão rígido, evitando-se possíveis danos no transporte.

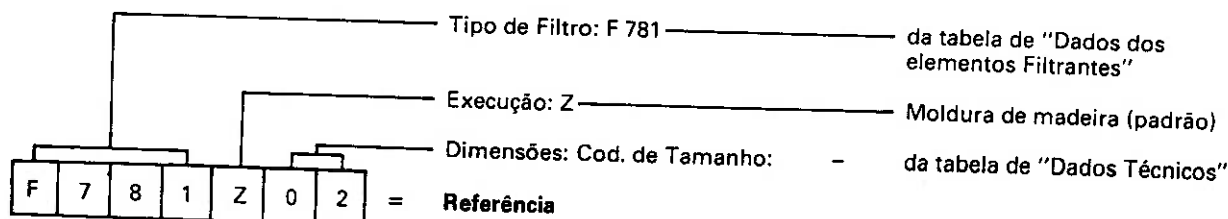
## DADOS DOS ELEMENTOS FILTRANTES

TIPO DE FILTRO	F756	F757	F758	F759	F779	F780	F781
Classe de filtro conforme DIN. 24.185	EU6	EU7	EU8	EU9	—	—	—
Efic. Colorimétrica	63%	82%	93%	95%	—	—	—
Grau de filtragem Conforme Teste D.O.P.	—	—	—	—	>92%	>96%	> 99,97%
Classe de Filtro absoluto Conforme DIN 24.184	—	—	—	—	Q	R	S
Classe de filtro conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10)	F2	F3	F3	F3	A1	A1	A3

(2) A classificação conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10) considera efetivamente o resultado dos testes colorimétricos e D.O.P., e não tamanho de partículas. Não utilize a eficiência por tamanho de partículas como parâmetro conclusivo. NÃO É ACONSELHÁVEL.

## EXEMPLO DE ESPECIFICAÇÃO

Filtro absoluto tipo painel plissado.  
Classe de filtro 'A3' conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10)  
Moldura em madeira.  
Dimensões: 610x610x78 mm.



# Dados Técnicos - Filtros Finos Plissados

CÓDIGOS DE TAMANHOS	Tipo de filtro		F756	F757	F758
	Conf. Classif. Eurovent		EU6	EU7	EU8
	Letra	Código	73	—	Z
	Característica:		292	B	G
	Conf. NBR 6401 (antiga ABNT NB-10)		F3	F3	F3
	Eficiência conforme teste Colorimétrico ASHRAE 52-76		63%	82%	93%

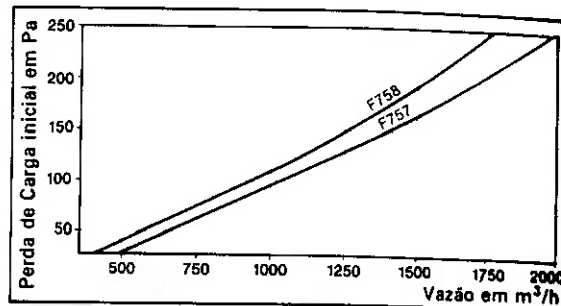
Para um exemplo de especificação, ver pág. 2.

Todos os valores de vazão em  $m^3/h$  e  $m^3/s$  estão arredondados.

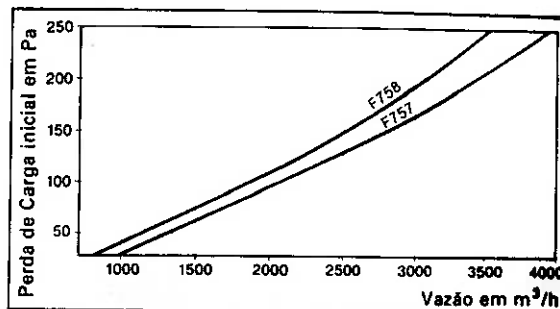
Pesos líquidos sem embalagem, referidos à execução standard.

Para filtros embalados acrescentar aproximadamente 2,0 kg para cada unidade.

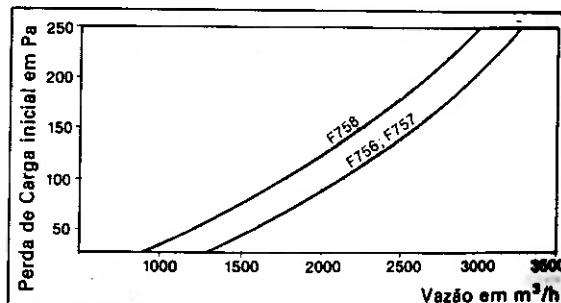
15	Dimensões B x H x T em mm		287 x 592 x 78		
	Vazão Nominal	em $m^3/h$ $m^3/s$	—	1250 0,35	1250 0,35
	Perda de Carga Inicial com vazão nominal	em Pa	—	130	150
	Perda de carga final recomendada	em Pa	—	600	600
	Peso	em kg	—	2	2



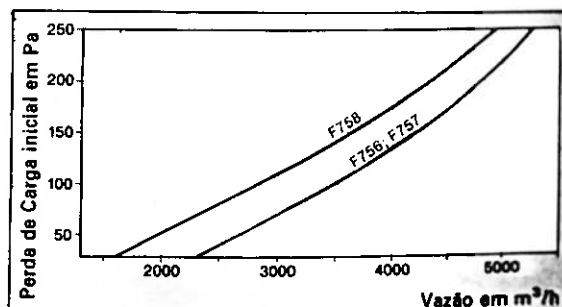
16	Dimensões B x H x T em mm		592 x 592 x 78		
	Vazão Nominal	em $m^3/h$ $m^3/s$	—	2500 0,70	2500 0,70
	Perda de Carga Inicial com vazão nominal	em Pa	—	130	150
	Perda de carga final recomendada	em Pa	—	600	600
	Peso	em kg	—	3,5	3,5



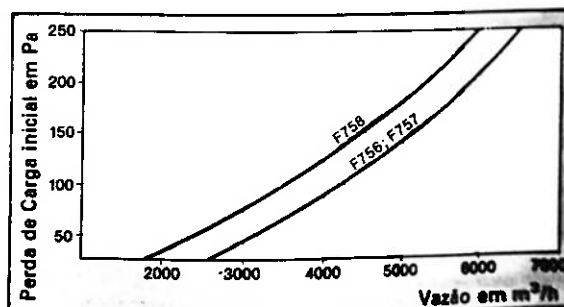
17	Dimensões B x H x T em mm		287 x 592 x 292		
	Vazão Nominal	em $m^3/h$ $m^3/s$	2500 0,70	2500 0,70	2500 0,70
	Perda de Carga Inicial com vazão nominal	em Pa	140	140	180
	Perda de carga final recomendada	em Pa	450	600	600
	Peso	em kg	4	3,5	3,5



18	Dimensões B x H x T em mm		592 x 592 x 292		
	Vazão Nominal	em $m^3/h$ $m^3/s$	4100 1,10	4100 1,10	4100 1,10
	Perda de Carga Inicial com vazão nominal	em Pa	140	140	180
	Perda de carga final recomendada	em Pa	450	600	600
	Peso	em kg	6	5,5	5,5



19	Dimensões B x H x T em mm		592 x 592 x 292		
	Vazão Nominal	em $m^3/h$ $m^3/s$	5000 1,40	5000 1,40	5000 1,40
	Perda de Carga Inicial com vazão nominal	em Pa	140	140	180
	Perda de carga final recomendada	em Pa	450	600	600
	Peso	em kg	7,5	6	6





# Filtro Fino Plissado

2.  
estão

mente

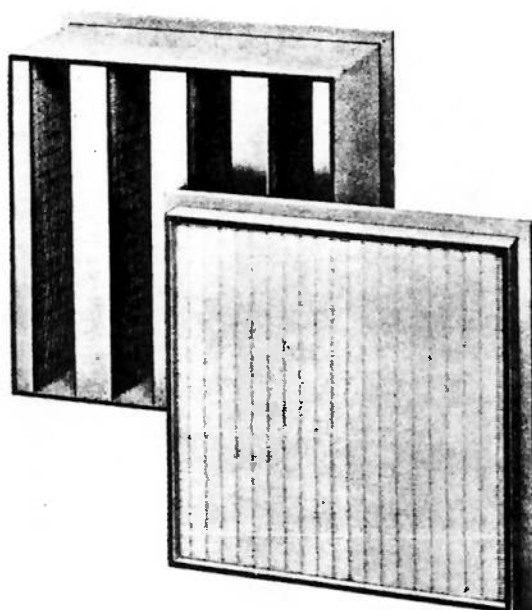
2000  
m<sup>3</sup>/h

4000  
m<sup>3</sup>/h

3500  
m<sup>3</sup>/h

7000  
m<sup>3</sup>/h

7000  
m<sup>3</sup>/h



## Célula de Filtro compacta

Classes de filtros de F1 a F3 conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10) utilizados para filtragem de poeira fina atmosférica, como pré-filtro de filtros absolutos ou filtro final em instalações de ventilação e climatização.

Vazões nominais 1250 - 2500 - 4100 e 5000 m<sup>3</sup>/h por cada célula de filtro. Pode-se escolher livremente o sentido do fluxo de ar, posição de montagem e lado de manutenção.

Pela geometria e arranjo do meio filtrante, consegue-se longa vida útil.

## Formas construtivas

Duas profundidades diferentes:

- 78 mm para vazões nominais de até 2.500 m<sup>3</sup>/h.
- 292 mm para vazões nominais de até 5.000 m<sup>3</sup>/h.

Três secções diferentes:

- 287x592 mm
- 490x592 mm
- 592x582 mm

Adaptáveis às molduras padrão de filtros de bolsas existentes no mercado.

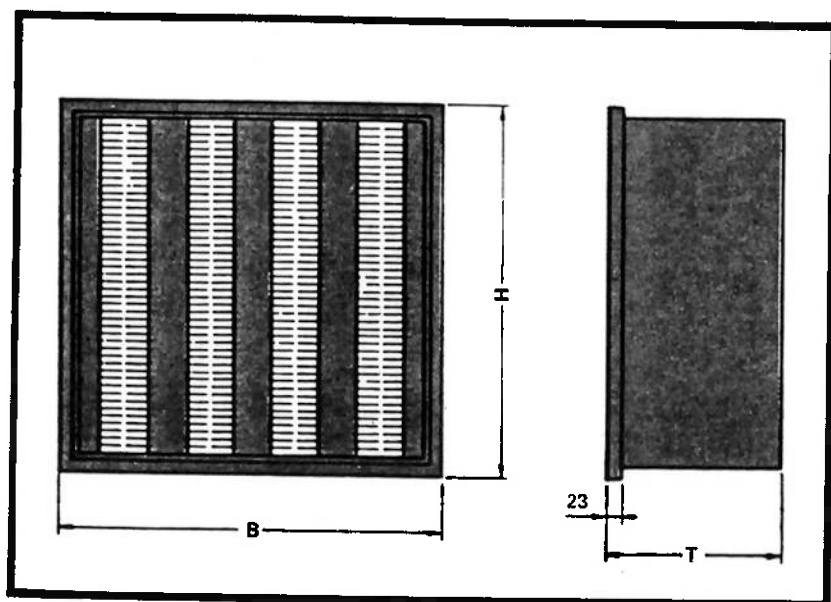
## Meios filtrantes e classes de filtros

Em função da classe dos filtros, utilizam-se diferentes meios filtrantes com o objetivo de atender os graus de filtragem e separação requeridos.

- Classe F1 conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10) - papel de celulose
- Classes F2 e F3 conforme NBR 6401 (antiga ABNT NB-10) - papel de fibras de vidro.

## Molduras dos filtros

Utiliza-se madeira compensada, com seladora, resistente à umidade e impermeável em relação ao ar.



# Dados Técnicos - Painéis Absolutos Plissados

MODELO DO FILTRO	F780	F781
Classe de filtro conf. NBR 6401	A1	A3
Classe do filtro conf. DIN 24184	R	S
Perda de Carga inicial com vazão nominal em Pa	125	250
Perda de Carga final recomendada em Pa	400	600
Código 30 78 292	Z Z ou G X ou G	Z Z ou G X ou G

TABELA DE DIMENSÕES

CÓDIGO DE TAMANHO	DIMENSÕES EM mm (sem junta)			VAZÃO NOMINAL		PESO em Kg
	B	H	T	m³/s (m³/h)		
12	305	305	78	0,07	260	1,5
01	305	610	78	0,15	540	2,5
13	457	457	78	0,17	600	2,5
14	610	610	30	0,15	535	2,8
02	610	610	78	0,30	1100	3,5
04	610	762	30	0,18	660	3,2
05	610	762	78	0,39	1400	4,0
16	610	915	30	0,22	800	3,8
06	610	915	78	0,47	1700	4,5
17	610	1220	30	0,30	1100	5,0
07	610	1220	78	0,61	2200	5,7
08	610	1525	78	0,76	2750	7,5

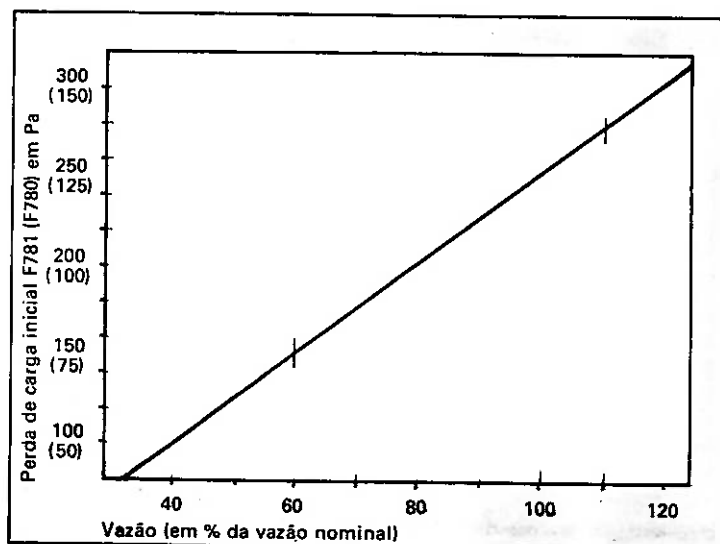
TABELA DE DIMENSÕES

CÓDIGO DE TAMANHO	DIMENSÕES EM mm (sem junta)			VAZÃO NOMINAL		PESO em Kg
	B	H	T	m³/s (m³/h)		
09	610	1830	78	0,92	3300	8,5
03	762	762	30	0,24	850	4,0
19	762	762	78	0,49	1750	5,5
20	762	915	78	0,58	2100	6,4
30	762	1220	78	0,78	2800	8,0
26	762	1525	78	0,97	3500	10,0
27	762	1830	78	1,17	4200	12,0
22	915	915	78	0,70	2500	6,5
25	915	1220	78	0,93	3350	11,5
28	915	1525	78	1,15	4150	13,0
29	915	1830	78	1,40	5000	15,5
41	610	610	292	0,56	2000	14,5
61	610	610	292	0,88	3000	15,5
76	610	762	292	1,10	3750	20,0

Todos os valores de vazão em m³/s e em m³/h estão arredondados.

Os pesos são líquidos e unitários, referidos sempre à execução standard.

Para filtros embalados, considerar um acréscimo unitário de aprox. 2,0 Kg.



As vazões nominais (100%) indicadas na tabela de dimensões acima, correspondem a uma perda de carga inicial de:

125 Pa - Filtro F780, Classe A1

250 Pa - Filtro F781, Classe A3

Desvios nas vazões nominais, não têm influência no grau de filtragem dos filtros plissados.

Deverá considerar-se porém, que utilizando-se os filtros com vazões menores que as nominais, a durabilidade aumenta de forma sobreproporcional, e com vazões maiores que as nominais, sua vida útil se reduz também de forma sobreproporcional.

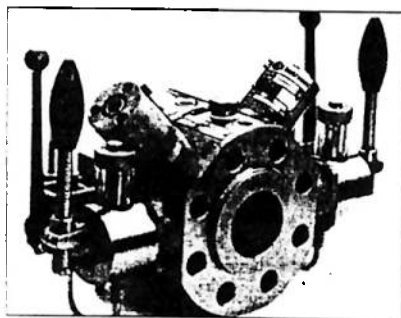
## GENERAL

The INSTROMET Q - 75 turbine gas meter is an integrating flow meter for the measurement of gases. The volume of gas passing through the meter, at the operating pressure and temperature, is indicated on a counter in units of volume ( $m^3$ ). The volume registered can be converted to a reference volume ( $Nm^3$ ) by application of a volume integrator such as the Instramet electronic flow computers and volume correctors. If required, the line volume can be converted to mass by the use of a density transmitter and an Instramet flow computer.

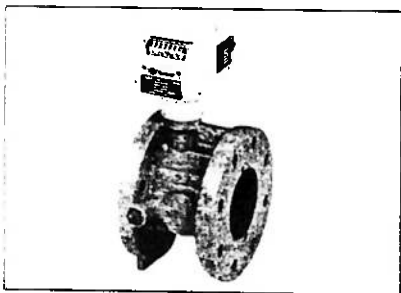
## APPLICATIONS

The standard Q - 75 meter is suitable for all non-corrosive gases such as natural gas, propane, butane, air, nitrogen, ethylene, hydrogen, etc. A special construction can be supplied for use with corrosive gases. The pressure containing structure of the Q - 75 meter is constructed in accordance with many pressure vessel codes and standard construction is in accordance with the Dutch Stoomwezen code.

The Q - 75 turbine meter is used in many different industrial applications to measure process gas or feed-stock gas. Additionally they are used in operations with multiple usage points for cost allocation purposes.



Ethylene gasmeter (special)



Meter with injection oil system

## GENERAL TECHNICAL DATA:

Pressure ratings	: PN 10 to PN 100 and ANSI 125 to ANSI 600. Higher pressure ratings on request
Nominal diameters	: 50 mm (2") to 600 mm (24"). Larger sizes on request
Flow rates	: Up to 25,000 $m^3/h$ (line conditions)
Measurement range	: 20:1 at atmospheric conditions*
Installation	: Upto 200 mm (8") both vertical and horizontal; over 200 mm horizontal only
Repeatability	: $\pm 0,1\%$
Measuring accuracy	: Between $Q_{min}$ and $0.2 Q_{max} \pm 2\%$ ** Between $0.2 Q_{max}$ and $Q_{max} \pm 1\%$ **
Temperature range	: $-10^\circ C$ to $+50^\circ C$ . Other temperature ranges on request

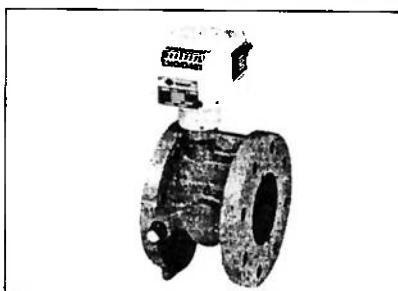
\* Some smaller size meters have reduced ranges

\*\* For uniform swirlfree flow

## MATERIALS SPECIFICATION

Body	: Ductile iron or fabricated from steel See chart on page 7
Rotor	: Meters 150 mm PN 10/16 ANSI 125 and smaller sizes: standard delrin. Optional aluminium. All other sizes: standard aluminium
Bearings	: Stainless steel
Shafts	: Stainless steel
Magnet coupling	: Ferroxdure magnets in stainless steel bushings
Meter module	: Aluminium
Screws and bolts	: Stainless steel
O-rings	: Viton
Gears	: In contact with gas: delrin and stainless steel In the index: delrin
Oil pumps	: Chrome-plated brass or steel
Index head	: Aluminium

NOTE: Special materials available on request. The internals can be teflon coated for service with corrosive mediums.



Meter with push button oil system



Meter with small oil pump

## PRESSURE LOSS

Size mm	Q max (m³/h)	ΔP Qmax (mbar)	Size mm	Q max (m³/h)	ΔP Qmax (mbar)
50 (2")	65	3	250 (10")	1600	1,5
50 (2")	100	6	250 (10")	2500	3,5
80 (3")	160	3	250 (10")	4000	8,5
80 (3")	250	7	300 (12")	2500	1,5
80 (3")	400	17	300 (12")	4000	4,0
100 (4")	250	2	300 (12")	6500	9,0
100 (4")	400	5	400 (16")	4000	1,5
100 (4")	650	13	400 (16")	6500	4,0
150 (6")	650	3,5	400 (16")	10000	9,0
150 (6")	1000	7	500 (20")	6500	1,5
150 (6")	1600	16	500 (20")	10000	4,0
200 (8")	1000	1,5	500 (20")	16000	9,0
200 (8")	1600	2,5	600 (24")	10000	1,5
200 (8")	2500	5,5	600 (24")	16000	4,0
			600 (24")	25000	9,0

The average pressure loss of the Q - 75 turbine meter using atmospheric air and measured at one (1) diameter upstream to one (1) diameter downstream of the meter on straight pipe of the same size as the meter.

The pressure loss across the Q - 75 for various gases and other operating pressures may be approximated from the following equation.

## PRESSURE LOSS FORMULA

$$P_2 = P_1 \times d \times \left( \frac{P_m}{P_{(atm)}} \right) \times \left( \frac{Q}{Q_{max}} \right)^2$$

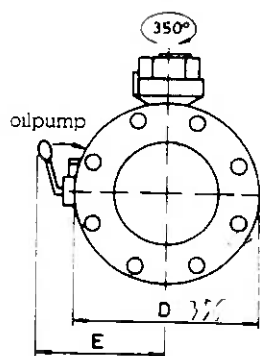
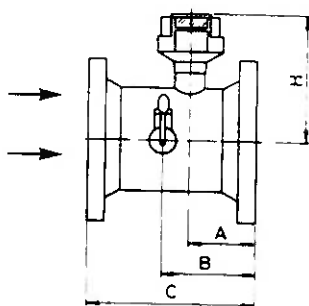
$P_2$  = Pressure drop at  $P_m$  and  $Q$  - mbar  
 $P_1$  = Pressure drop at  $Q_{max}$  - see table  
 $P_m$  = Operating pressure absolute

$P_{(atm)}$  = Atmospheric Pressure (table conditions 1.013 bara)  
 $Q$  = Instantaneous flow rate

$Q_{max}$  = Max. flow rate from the table above  
 $d$  = Relative density of the gas (air = 1)

The formula is only valid at near ambient temperature and assumes ideal gas behaviour ( $Z=1$ )

## DIMENSIONS



Size mm	DIMENSIONS IN mm					
	A	B	C	D	E	H
50 (2")	60	—	150	195	—	235
80 (3")	30	—	120	230	—	250
100 (4")	49	75	150	275	255	268
150 (6")	62	87	175	356	298	313
200 (8")	69	100	200	430	338	353
250 (10")	140	167	375	508	327	315
300 (12")	172	224	450	585	352	338
400 (16")	221	280	600	686	394	380
500 (20")	335	365	750	813	445	431
600 (24")	350	380	900	940	495	482



# MEASUREMENT RANGES Q-75

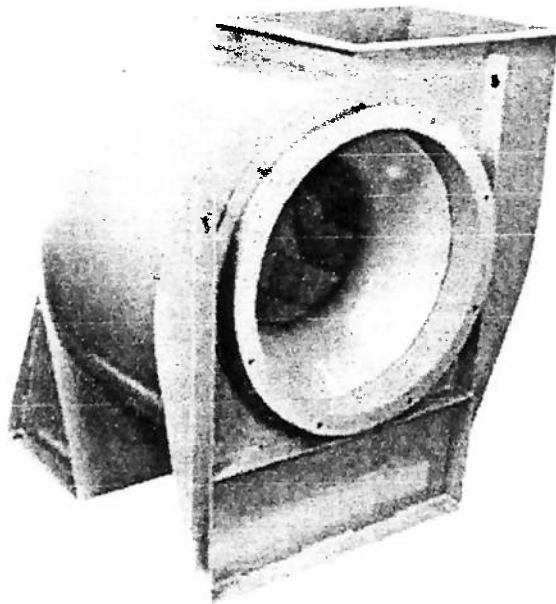
Sizes mm	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /h	Q <sub>min</sub> m <sup>3</sup> /h	tr** m <sup>3</sup>	Length mm	Pressure Rating	Body material	Weight kg	Pressure Rating	Body material	Weight Kg
50 2"	65 100	13 10	0,1	150	PN 10/16 ANSI 125	GGG	10 10	PN 100	St	26
					PN 10/16 PN 25/40 PN 64	St	20 20 23	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		18 20 20 20
					PN 10/16 ANSI 125	GGG	12 12	PN 100		38
					PN 10/16 PN 25/40 PN 64	St	32 32 35	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		30 34 34 34
100 4"	250 400 *650	13 20 32	1 1	150	PN 10/16 ANSI 125	GGG	19 19	PN 100	St	51
					PN 10/16 PN 25/40 PN 64	St	35 40 45	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		40 49 49 58
					PN 10/16 ANSI 125	GGG	28 28	PN 100		99
					PN 10/16 PN 25/40 PN 64	St	59 68 94	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		56 78 78 100
200 8"	1000 1600 *2500	50 80 130	10 10	200	PN 10 PN 16 ANSI 125	GGG	42 42 42	PN 40 PN 64 PN 100	St	112 143 160
					PN 10 PN 16 PN 25	St	83 88 100	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		90 120 120 152
					PN 10 PN 16 PN 25 PN 40 PN 64 PN 100	St	69 71 89 109 139 199	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		74 110 141 200
					PN 10 PN 16 PN 25 PN 40 PN 64 PN 100	St	92 102 120 157 195 302	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		130 182 214 264
400 16"	4000 6500 *10000	200 320 500	10 10	600	PN 10 PN 16 PN 25 PN 40 PN 64	St	200 230 260 310 360	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600	St	250 310 340 430
					PN 10 PN 16 PN 25 PN 40	St	312 362 402 452	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		412 562 592 742
					PN 10 PN 16 PN 25 PN 40	St	507 557 607	ANSI 150 ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600		657 907 957 1107
					PN 10 PN 16 PN 25	St				

\* = Maximum density 53 kg/m<sup>3</sup> at Q<sub>max</sub>  
tr\*\* = m<sup>3</sup>/Revolution of output shaft

GGG = Ductile iron GGG 40  
St = Steel

## RFS - RFD

Os ventiladores da linha RF possuem rotores de pás em perfil aerofólio voltadas para trás, do tipo "limit load", ou "carga limite". São projetados para uma operação silenciosa e de alto rendimento (até 90%). Trabalham com ar ou gases limpos. São equipamentos usados onde a economia de energia é fator determinante para a operação do sistema.



### RFS - simples aspiração

-Vazão de ar: 700 a 350.000 m³/h;

-Pressões Estáticas: 10 a 450 mmca;

### RFD - dupla aspiração

-Vazão de ar: 1.400 a 600.000 m³/h;

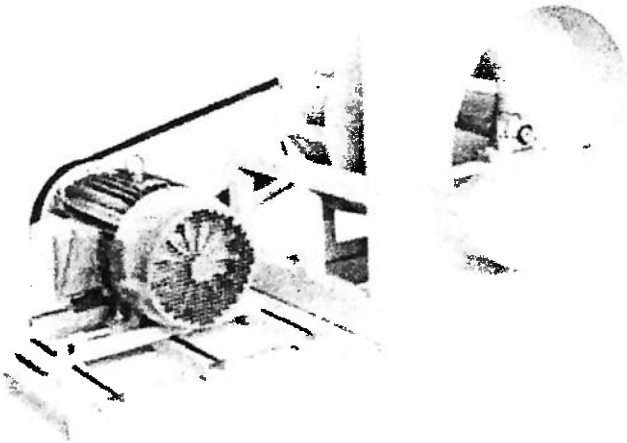
-Pressões Estáticas: 10 a 300 mmca;

**APLICAÇÕES:** Ar condicionado; ventilação e exaustão industrial, comercial e doméstica; estufas e secadores.



## PLENUM FAN

Os ventiladores tipo Plenum ou "Plenum Fans" fabricados pela OTAM possuem rotores do tipo limit load, com pás em perfil aerofólio, que atingem alta eficiência. Estes ventiladores não possuem carcaça, tendo como aplicações típicas o uso em plenums pressurizados e instalações de volume de ar variável (VAV). O Plenum Fan economiza espaço, pois elimina a carcaça do ventilador e os dutos que seriam necessários para conectá-lo ao plenum. De forma opcional podem ser fabricados com rotor do tipo limit load de pás retas voltadas para trás. Também é disponível a construção com o motor diretamente acoplado ao ventilador.





## OTAM VENTILADORES INDUSTRIAIS LTDA

Av. Francisco S. Bitencourt, 1501 - P. Alegre - RS - BRASIL  
CEP 91150-010 - Cx. Postal 7056 - e-mail: otam@pro.via-rs.com.br  
FONE: (51) 364-5566 - FAX: (51) 364-1264

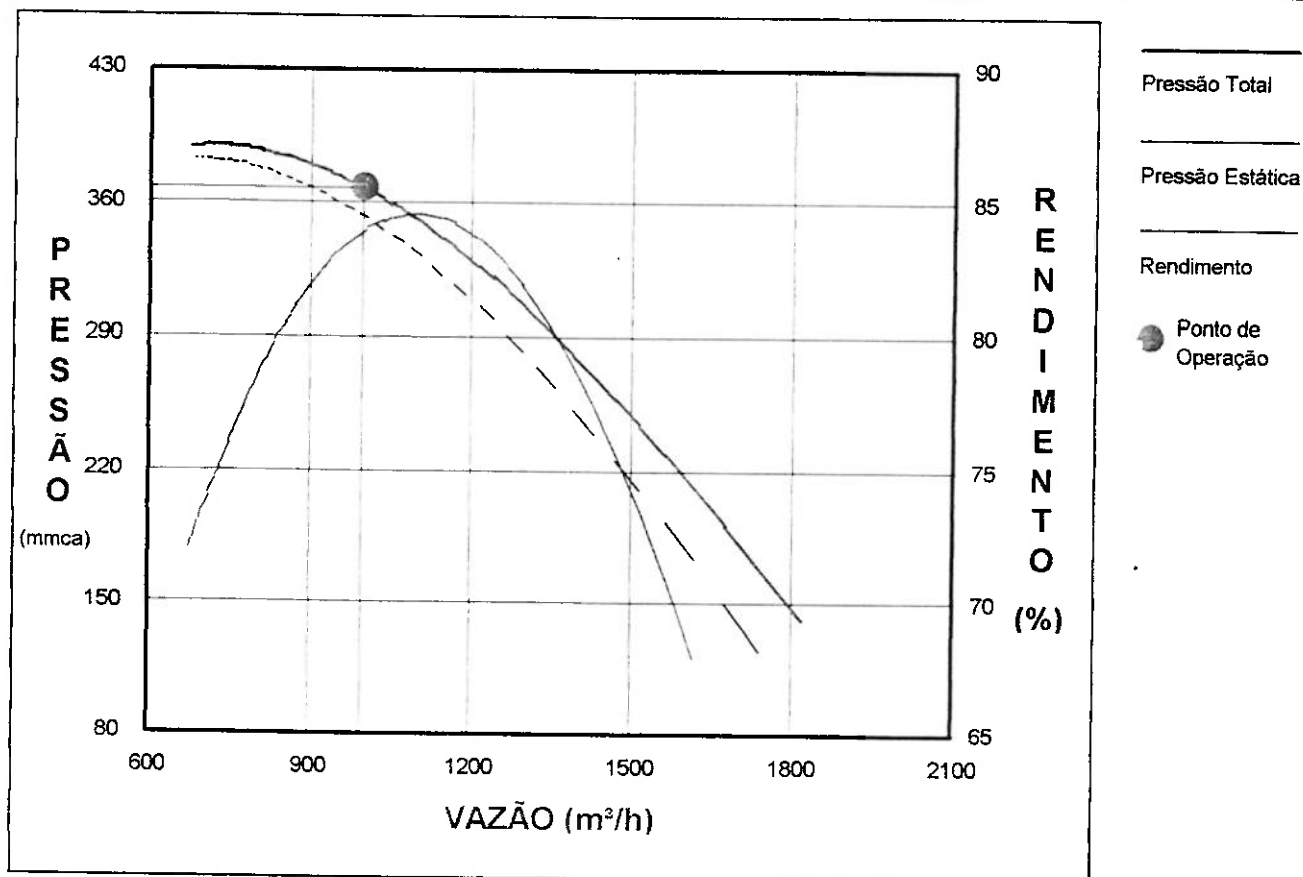
Cliente: IPT

Obra: Bancada de Filtro

Ventilador: RFS 150

TAG:

Data: 17/11/2001



### CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO DO PONTO DE OPERAÇÃO

VAZÃO :	1000	m³/h	ROTAÇÃO :	10453	rpm
PRESSÃO ESTAT.:	353.0	mmca	TEMPERATURA :	20.0	Celsius
PRESSÃO TOTAL :	367.6	mmca	DENSIDADE :	1.204	kg/m³

jh  
rua tingui 431 CEP: hj Cidade: sao pau;idpid UF: kj  
Fone: hj Fax: h

**OTAM VENTILADORES INDUSTRIAIS LTDA**

Av. Francisco S. Bitencourt, 1501 - P. Alegre - RS - BRASIL  
CEP 91150-010 - Cx. Postal 7056 - e-mail: otam@pro.via-rs.com.br  
FONE: (51) 364-5566 - FAX: (51) 364-1264

**Cliente:** IPT**Obra:** Bancada de Filtro**Data:** 17/11/2001**Ventilador:** RFS 150 CLASSE IV**TAG:****Fluido:** Ar**CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO**

Temperatura de Operação:	20,0	Celsius	Velocidade de Descarga:	15,4	m/s
Pressão Barométrica:	760,0	mmHg	Rendimento:	83,9	%
Densidade do Fluido:	1,204	kg/m³	Rotação:	10453	rpm
Vazão:	1000	m³/h	Potência Absorvida (ST):	1,62	cv
Pressão Estática (SE):	353,0	mmca	Potência Absorvida (SE):	1,62	cv
Pressão Total (SE):	367,6	mmca	Velocidade Periférica:	82,0	m/s
Pressão Total (ST):	367,6	mmca	Pressão Sonora a 1 m (Campo Livre):	80	dBA
Pressão Estática (ST):	353,0	mmca			

SE- Condições de Serviço

ST- Condições Standard ( 20 graus Celsius e 760 mmHg)

jh  
rua tingui 431 CEP: hj Cidade: sao pau;idpid UF: kj  
Fone: hj Fax: h

# PRODUTOS



## BG-4000

Características	Valores
Carga Máxima	4.000g
Redibilidade	0,01g
Temperatura Operação	0 a 40°C
Repetibilidade	$\pm 0,01g$
Linearidade	$\pm 0,01g$
Dimensões Prato	$\varnothing = 152 \text{ mm}$
Tempo de Medida	0,5 a 4 seg
Ajuste da rede	95 a 235 VAC
Frequência	Automática
Consumo	50 / 60 Hz
Dimensões Totais	6 Watts
Peso	254x290x140 mm
	5,2 Kg



### Acessórios deste Modelo:

- Protetor de Vento Padrão.
- Display de fácil visualização permitindo a leitura em qualquer ambiente.
- Indicador de nível.
- Pés reguláveis para nivelamento
- Funções selecionáveis, sendo: Porcentagem, Contagem de peças, Peso Referência e Formulação.
- Fonte de alimentação Chaveada multi-rede que opera de 95 a 230 VAC.
- Calibração Semi-Automática.
- Garantia de um ano contra defeitos de fabricação.
- Manual de Operação em Português.
- Modelo Aprovado pelo INMETRO.

# FAX



Data : 20/08/2001

Nº de páginas incluindo esta folha de rosto: 02

Para : IPT  
A/C : Miguel Suarez  
Depto. :  
E-mail :  
☎ : 3742-2217  
Fax :

De : Oseias - Ramal 180  
Depto. : Comercial / Vendas  
Nº Ref.: Oferta n.º - 010046  
☎ : (11) - 3758-3200  
Fax : (11) - 3758-0727  
E-mail : oseias@gehaka.com.br

C/C

COMENTARIOS: ☐ Urgente ☐ Para revisão ☐ Favor responder ☐ Favor comentar

Prezado(s) Senhor(es),

Em atenção à vossa estimada consulta, apresentamos e seguir a nossa oferta comercial para o fornecimento do(s) produto(s) abaixo relacionado(s) :-

Item Qtd.

## DESCRIÇÃO

01 01 Balança Eletrônica Semi Analítica, modelo - BG-4000, marca - GEHAKA, com Sistema de Calibração Semi Automático; Teclado de Comando para Liga/Desliga, Tara, Função, Troca e Imprime. Possui indicação de sobrecarga, protetor de vento circular Standard, com display led verde de fácil leitura, gabinete metálico com pintura epoxi.  
Aprovada pelo INMETRO

## ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

- Faixas de Pesagem 0 - 4000 g.
- Faixa de Tara 0...4000 g.
- Precisão ± 0,01 g
- Tempo de Estabilização Ajustável entre 0,5 / 1,0 e 2,0 segundos.
- Funções Padrões Contagem, Porcentagem, Formulação e Peso Referência.
- Dimensões do prato ≥ 135 mm.
- Alimentação Fonte chaveada automática 95 - 230 Volts.

PREÇO UNITÁRIO: - R\$ 1.620,00 + 5 % de IPI  
(Um Mil. Seiscentos e Vinte Reais Mais Cinco % de IPI)

**FAX****CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO**

- Pagamento - Fat. 21 ddl.
- Faturamento - Mínimo R\$ 250,00 (Duzentos e Cinquenta Reais)
- Valor(es) - Está(ão) expresso(s) na moeda do país de origem do(s) equipamento(s), sendo:  
DM\$ - Marcos Alemães (Origem - Alemanha)  
R\$ - Reais (Origem - Brasil)  
US\$ - Dólares Americanos (Estados Unidos)  
O(s) preço(s) em moeda estrangeira será(ão) convertido(s) para valores em Reais na data do efetivo faturamento, pela taxa cambial, valor de venda, vigente.
- Prazo de Entrega do(s) Material(is) - 20 Dias
- Embalagem(ns) - Caixa(s) de papelão inclusa(s) no(s) preço(s) orçados.
- Garantias - A Gehaka oferece uma garantia de 12 Meses para todos os produtos de fabricação própria, e repassa o período oferecido pelos seus fornecedores conforme cada linha de produto.
- Assistência Técnica - A Gehaka possui um departamento de assistência técnica exclusivo e oferece todo e qualquer suporte para todos os produtos que comercializa.
- Impostos - ICMS - Inclusos e IPI - a ser acrescido ao(s) preço(s) conforme a alíquota mencionada em cada item acima.
- Mercadoria - Frete FOB.
- Validade - validade da proposta 15 (Quinze) Dias

Antecipamos os nossos sinceros agradecimentos pela preferência e colocamos a nossas equipes técnica e comercial a inteira disposição de V.S.as. para quaisquer esclarecimentos adicionais necessários. subscrevemo-nos,

*Gestariamos de aproveitar a oportunidade para formalizar um convite para que você venha conhecer o nosso show-room e as instalações da Gehaka.  
Colocamos a nossa equipe comercial a sua disposição para apresentar-lhe o funcionamento de todos os produtos orçados.*

Cordialmente.

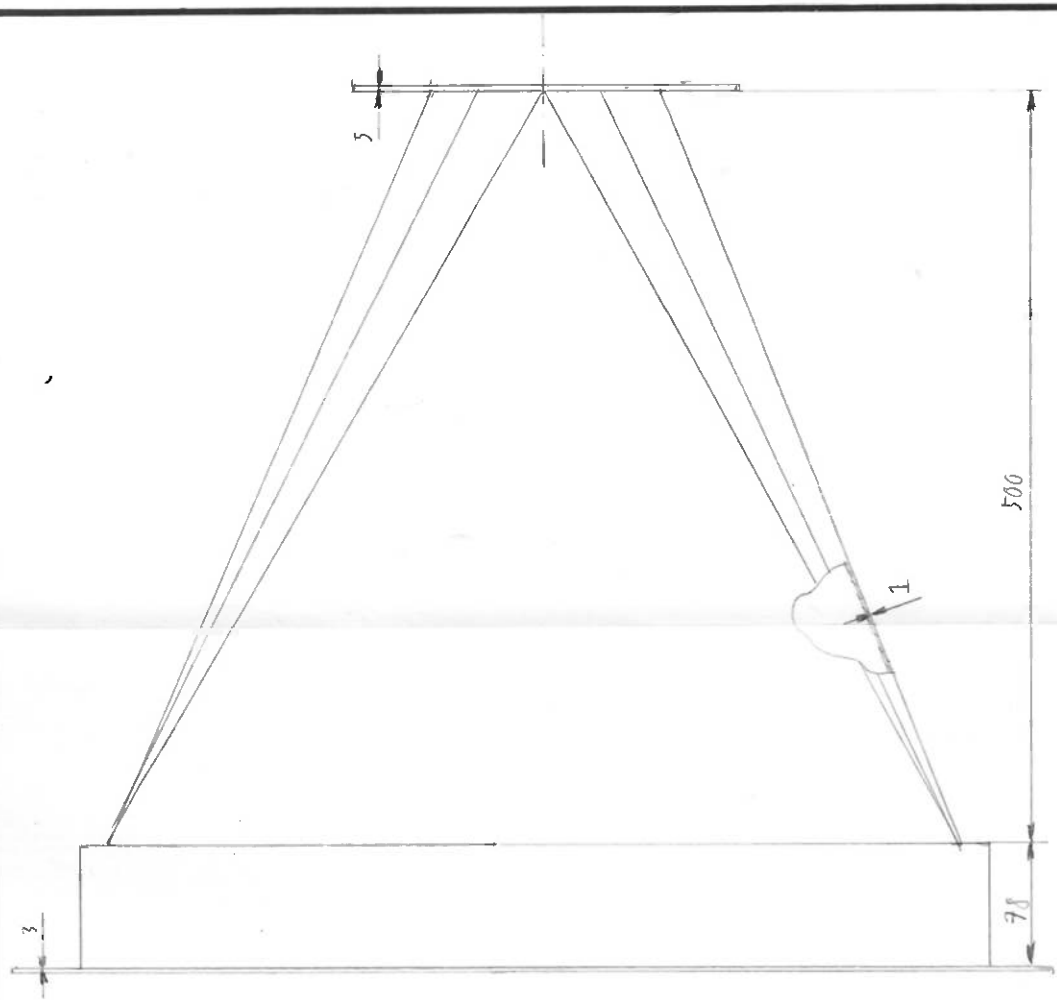
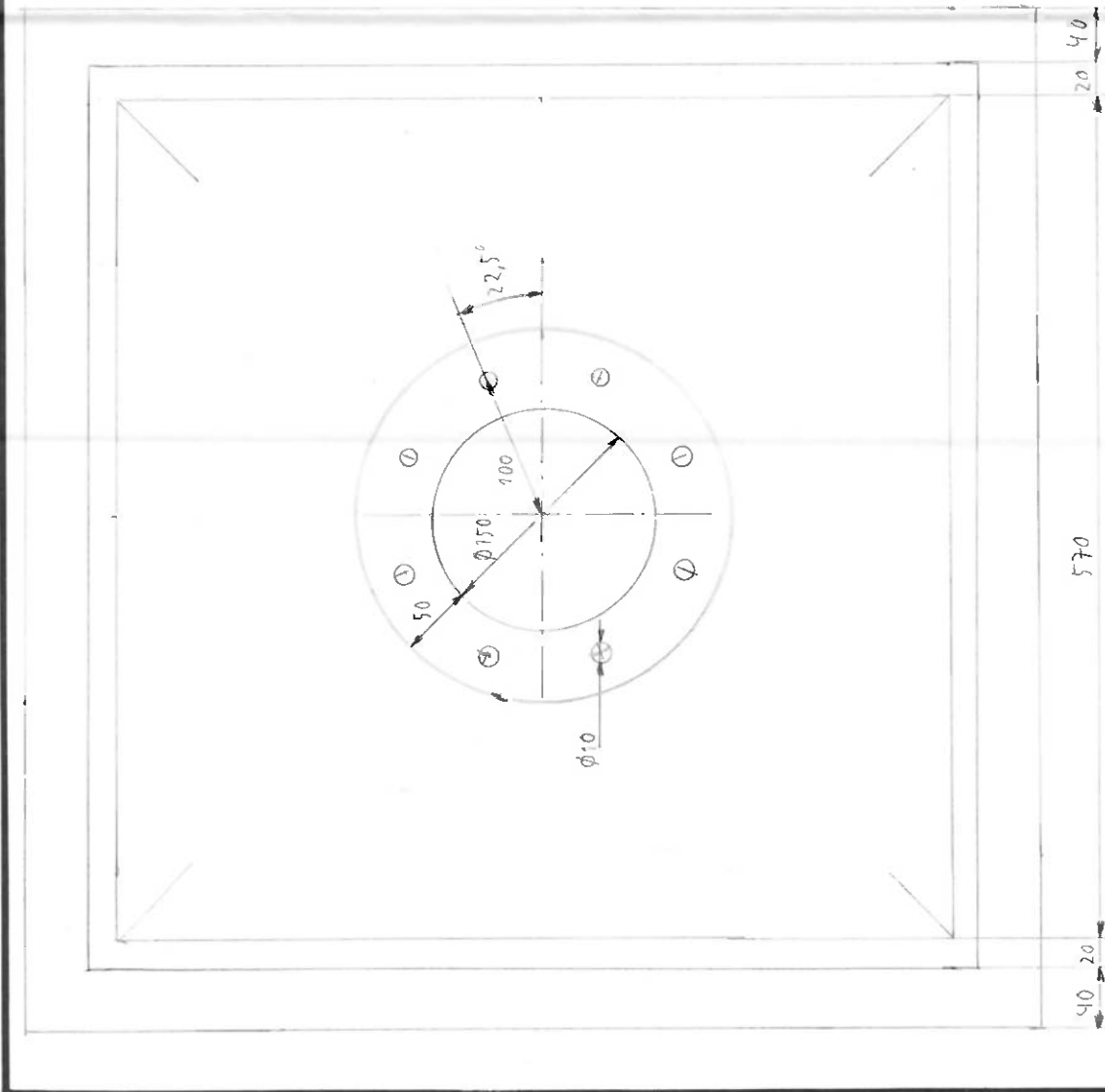
*Oseias Ribeiro Jr.*

Depto de Vendas

Ind. Com. Eletro Eletrônica Gehaka Ltda.

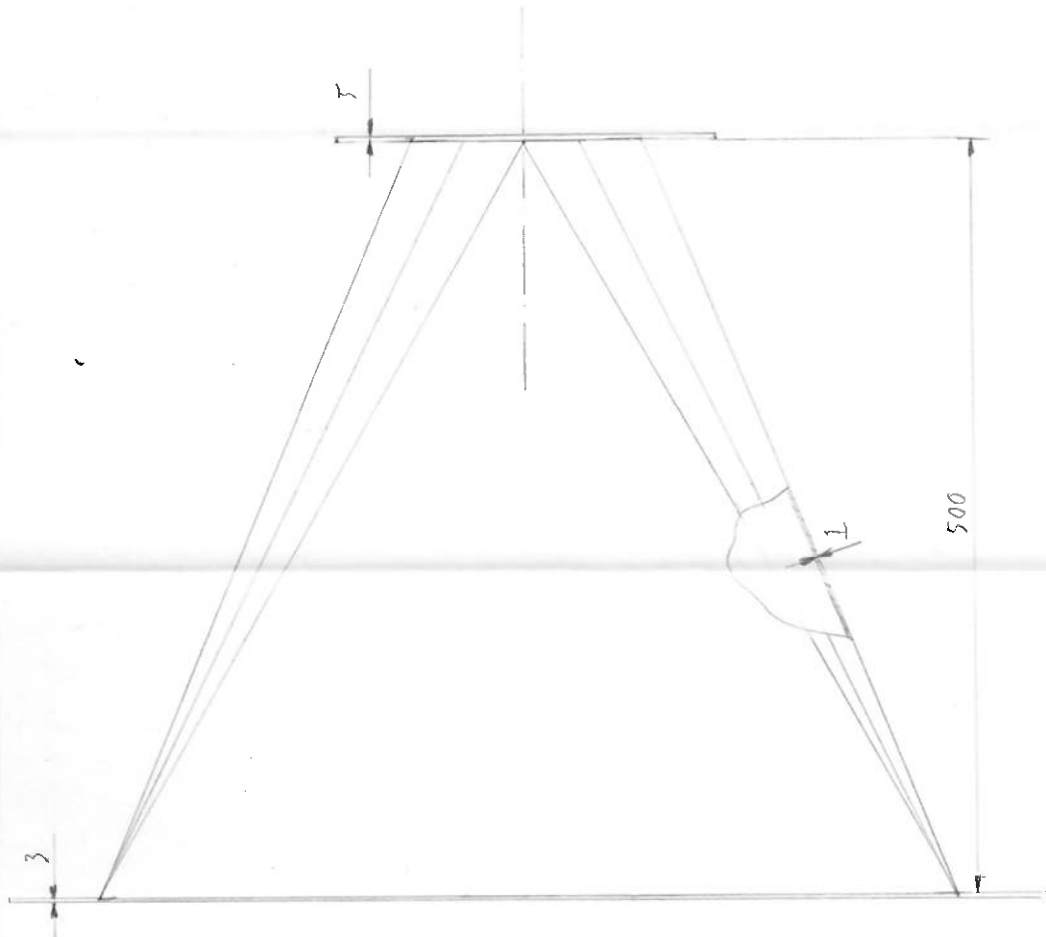
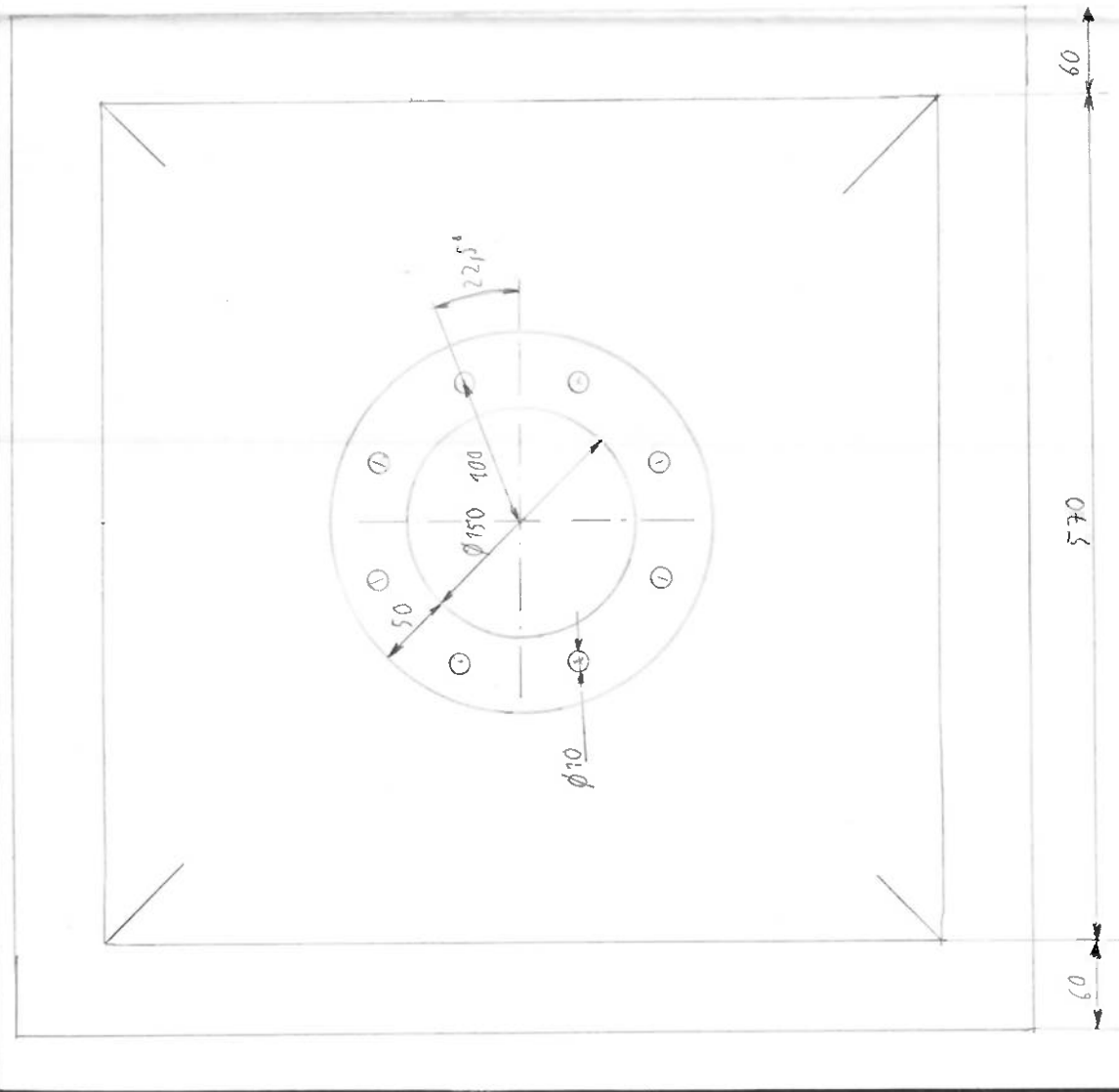
(0xx11) 3758-3200 e Fax (0xx11) 3758-0727

Av. Duquesa de Goiás, 235 - CEP - 05686-900 - São Paulo - SP - Brasil - Internet - <http://www.gehaka.com.br>

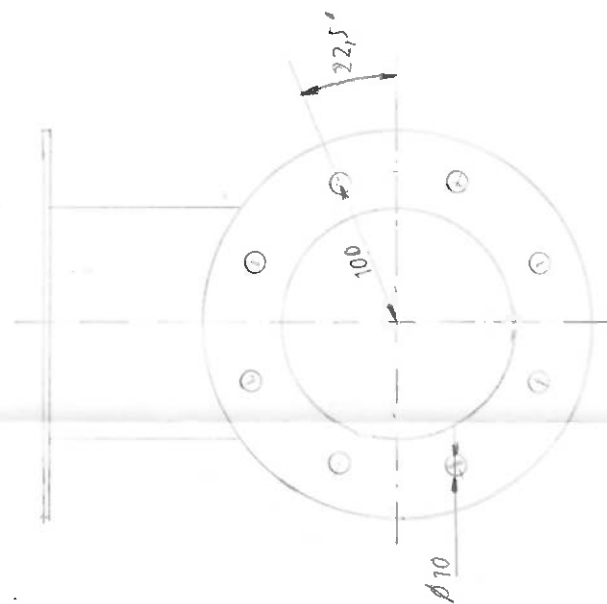
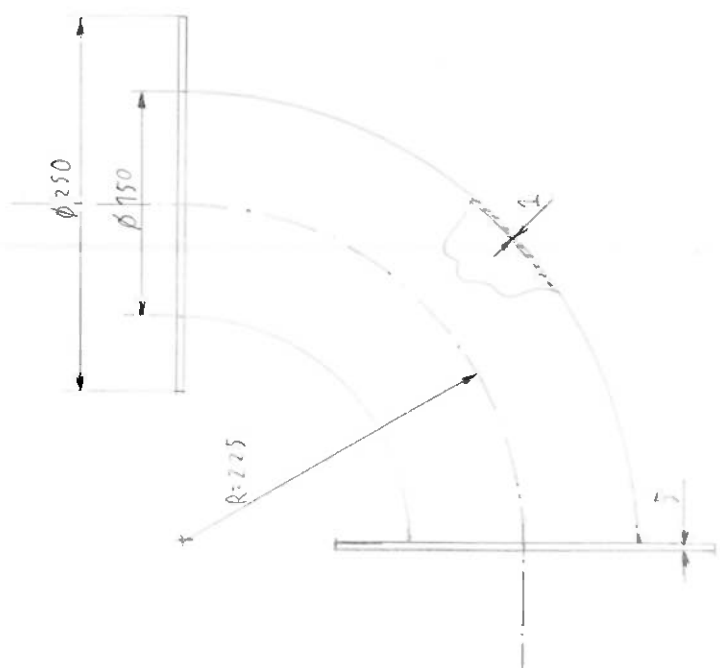


MATERIAL:	Aço	Nº USP:	8802017
NOME:	MIGUEL SALES DE MELO SOARES	PROF.	MARCOS ANTONIO PEREIRA
DISCIPLINA:	PROJETO MECÂNICO II	TÍTULO: VISEMUS DE FABRICAÇÃO DO	DATA:
ESCALA:	1:5	DIVISÃO: DO FILTRO ABSOLUTO	25/11/2024

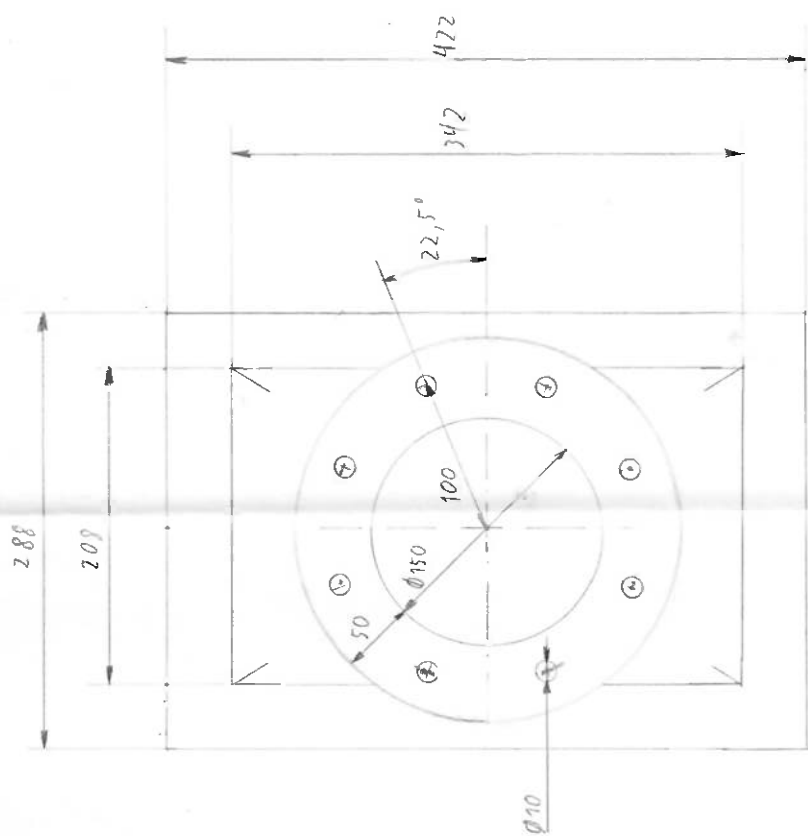
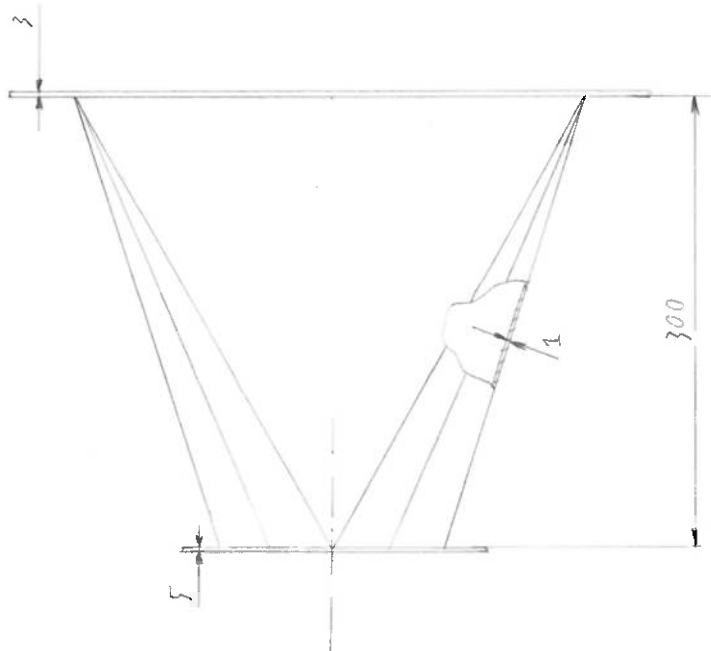




MATERIAL: AÇO		Nº USF.
ALUNO:	MIGUEL SALES DE MELO SOAREZ	1507087
DISCIPLINA:	PROJETO MECÂNICO II	PROF. MARCOS TADEU PEREIRA
ESCALA:	TÍTULO: DESENHO DE FABRICAÇÃO DO	DATA:
1:1	CONVERGENTE DO PÍLÃO ABSOLUTO	20/11/2003



MATERIAL:	AÇO	
NOME:	MIGUEL SALES DE F. SOARES	Nº USP:
DISCIPLINA:	PROJETO MECÂNICO II	1502082
ESCALA	1:5	DATA
		20/11/2005
		DO COTOVELO
		PROF. MARCOS TADEU PEREIRA



MATERIAL:  
AÇO

NOME:  
MIGUEL SALES DE MELO SOARES

Nº ORT:  
1502087

DISCIPLINA:  
PROJETO MECÂNICO II

PROF.  
MARCOS TIEVE PLACIRA

ESCALA:  
1:5

TÍTULO: CONVERGENTE DO FILAÇO A  
SER TESTADO

DATA  
27/11/2021