



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

## **Ventilação Industrial no Sector da Cerâmica**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**Daniel Dinis Ventura**

**Orientadores**

**Professor Doutor Divo Quintela**

**Engenheiro Francisco Silva (CTCV)**

**Júri**

**Presidente Professor Doutor Pedro Carvalheira**

**Professor Doutor Adélio Gaspar**

**Vogais Professor Doutor Divo Quintela**

**Engenheiro Francisco Silva, CTCV**



**Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro**

**Coimbra, Agosto, 2011**

*“O Homem pode sobreviver aproximadamente 30 dias sem se alimentar, 3 dias sem beber e apenas 3 minutos sem respirar.”*

Pina e Silva, 2003

## Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta apenas foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Estas pessoas são os meus pais, os meus irmãos, a minha namorada, os meus amigos e claro os meus professores, nomeadamente o Professor Divo Quintela, que me orientou e auxiliou. Gostaria também de agradecer ao CTCV, por toda a disponibilidade, ao Engenheiro Francisco Silva e à sua equipa.

## Resumo

Em Portugal a Indústria Cerâmica é um sector muito importante, não só pela facturação, mas sobretudo pelo número de postos de emprego gerados, já que a subsistência de emprego é fundamental.

Contudo neste sector da indústria é comum os trabalhadores encontrarem-se expostos a poeiras, muitas delas contendo sílica cristalina. Este mineral é prejudicial à saúde e, consoante a sua dimensão pode atingir os órgãos vitais do corpo Humano. A silicose é uma doença respiratória que advém da inalação do mineral referido e que em casos extremos pode levar à morte.

A nível nacional, entidades como o Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), efectuam medições das concentrações de poeiras a que os trabalhadores se encontram expostos. Nesse sentido esta entidade lançou o projecto, “*Desenvolvimento e sensibilização para as boas práticas de redução da exposição dos trabalhadores da Indústria Cerâmica à sílica cristalina respirável*”, no qual se integra o presente trabalho.

Como forma de combater a exposição a poeiras, as empresas recorrem aos sistemas de ventilação, na sua maioria aos sistemas de ventilação por aspiração localizada, uma vez que estes são geralmente mais eficazes, face aos sistemas de ventilação geral. Dada a importância destes sistemas, é necessário que eles funcionem e sejam implementados correctamente. Para isso são necessários estudos como este, que permitam identificar as boas e as más práticas que estão actualmente a ser executadas.

O projecto de um sistema de ventilação implica o conhecimento do processo de fabrico, dos dispositivos existentes e das condições de funcionamento.

Devido à inúmera variedade de processos de fabrico, neste ramo da indústria, cada sistema é único. Esta característica torna também importante este estudo, uma vez que permite a comparação entre sistemas e procedimentos adoptados, e a conclusão de quais os mais eficazes.

Infelizmente os sistemas de ventilação implementados nas empresas portuguesas são na sua maioria, os sistemas de origem, ou seja, têm em média 20 anos. Apenas uma minoria efectuou estudos aos sistemas, mesmo quando estes eram alterados. O

mesmo sucede no que diz respeito à realização de testes, estes só são efectuados em casos extremos. Neste sentido foi necessário elaborar um guia para a realização de testes aos sistemas de ventilação e um formulário de examinação.

Foram visitadas 6 empresas e efectuadas medições em 5, destas apenas 2 continham informações técnicas acerca de alguns dispositivos dos sistemas de ventilação. Estas visitas permitiram identificar as boas e más práticas aplicadas actualmente, assim como os dispositivos implementados. Os resultados das medições efectuadas permitem avaliar se o sistema se encontra de acordo com o projecto, se é necessário realizar manutenção ao mesmo, a capacidade deste para adição de novos componentes e ter uma percepção da sua eficácia.

**Palavras-chave:** Indústria cerâmica, sílica cristalina, sistema de ventilação.

## Abstract

In Portugal the Ceramic Industry is a very important sector, not only for billing, but above all by the number of jobs generated, since the subsistence of employment is crucial.

However in this industry sector it is common for workers to find themselves exposed to dust, a lot of it containing crystalline silica. This mineral is harmful to health and, depending on their size can reach the vital organs of the human body. Silicosis is a respiratory disease that results from inhalation of silica and in extreme cases can lead to death.

National entities such as the Technological Center of Ceramics and Glass (CTCV), does measurements of the quantities of dust inhaled by workers. In this sense launched the project "Development and sensitization for the best practices to reducing exposure of workers in the ceramics industry to respirable crystalline silica," in which this work is integrated.

As a way to combat dust exposure, companies apply ventilation systems, mostly them the exhaust ventilation systems located, since there are generally more effective, compared to the general ventilation systems. Given the importance of these systems, it is necessary that they operate and are implemented correctly. For that, are needed studies like this, to identify the good and bad practices that are currently being performed.

The design of a ventilation system requires knowledge of the manufacturing process, of the existing devices and operating conditions.

Due to the variety of manufacturing processes in the ceramic industry, each system is unique. This feature also makes this study to be important, since it allows the comparison of systems and procedures adopted, and the conclusion of which the most effective system.

Unfortunately ventilation systems deployed in Portuguese enterprises, are mostly the source systems, ie, have an average of 20 years. Only a few companies made studies of their systems, even when they were changed. Same happens with regard to

testing, these are only made in extreme cases. In this sense it was necessary to prepare a guide for testing the ventilation systems and an examination form.

6 companies were visited and measurements made at 5, only two of them had information about some technical devices of ventilation systems. These visits enabled the identification of good and bad practices currently used, and the devices implemented. The results of the measurements allow assess if the system is in accordance with the project, if he needs maintenance, the capacity for addition of new components and get a perception of its effectiveness.

**Keywords:** Ceramic Industry, crystalline silica, ventilation system.

## Índice

Índice de Figuras.....	vii
Índice de Quadros.....	viii
Siglas.....	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objectivos.....	10
2. Ventilação industrial.....	11
2.1. Princípio geral.....	12
2.2. Transporte de poluentes.....	15
2.2.1. Velocidade de transporte.....	15
2.2.2. Perdas de carga.....	16
2.3. Ventilação geral.....	20
2.4. Ventilação localizada.....	23
2.4.1. Componentes de um sistema de ventilação localizada.....	24
3. Sistemas de Ventilação.....	37
3.1. Tipos de sistemas de controlo de poeiras.....	37
3.2. Selecção de um sistema de controlo de poeiras.....	37
3.3. Teste de sistemas de controlo de poeiras.....	38
3.3.1. Como testar um sistema de controlo de poeiras.....	38
4. Apresentação e discussão dos resultados.....	41
4.1. Empresas visitadas.....	41
4.2. Procedimento de medição.....	41
4.3. Dados recolhidos.....	44
4.3.1. Na aspiração.....	44
4.3.2. Nas condutas.....	52
5. Conclusões.....	55
Referências bibliográficas.....	57
Anexo A - Processos que criam partículas finas na indústria da cerâmica.....	58
AnexoB – Perdas de carga por atrito por unidade de comprimento em condutas rectilíneas de secção constante.....	59
Anexo C – Diagrama de Moody.....	60
AnexoD – Coeficientes de perda de carga.....	61
Anexo E – Quadros de velocidades mínimas de captura.....	62
Anexo F – Quadro de velocidades de transporte aconselhadas em condutas.....	64
Anexo G – Quadro com a indicação do dispositivo de limpeza a utilizar para as várias dimensões e para vários poluentes.....	65
Anexo H – Teste de sistemas de controlo de poeiras (complemento).....	66
Anexo I – Formulário de exame.....	73
Anexo J – Relações entre caudal de aspiração e velocidade de ar induzida pelo dispositivo de captação.....	76
Anexo L – Quadro de registos na visita às empresas.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da retenção de partículas .....	6
Figura 2 - Ventilação localizada .....	11
Figura 3 – Ventilação geral .....	12
Figura 4 - Tipos pressões medidas ( <i>adaptado de Ventilation for control of the work environmental, 1989</i> ) .....	14
Figura 5 – Junção de duas condutas.....	19
Figura 6 – Boas e más formas de dimensionamento de condutas .....	20
Figura 7 - Ventilação geral - ideal e real.....	21
Figura 8 - Ventiladores eólicos.....	22
Figura 9 - Insuflador de telhado.....	23
Figura 10 - Exaustor de telhado motorizado .....	23
Figura 11 - Sistema de ventilação por aspiração localizada ( <i>adaptado de Pina e Silva, 2003</i> ) .....	25
Figura 12 - Linhas da fracção da velocidade relativas ao afastamento da face.....	27
Figura 13 - Campânula, com deflector em redor da entrada do ar ( <i>adaptado de Pina e Silva, 2003</i> ) .....	28
Figura 14- Geometrias de vários bocais de aproximação .....	30
Figura 15 -Pontos de aspiração na transição de material entre passadeiras .....	31
Figura 16 – Pontos de aspiração na transição de um elevador para uma passadeira .....	31
Figura 17 - Tremonha de abastecimento .....	32
Figura 18 - Esquema de um filtro de mangas .....	34
Figura 19 - Ventilador centrífugo .....	35
Figura 20 – Ventilador axial.....	35
Figura 21 – Ponto de funcionamento de um ventilador .....	36
Figura 22 - Equipamentos avaliados negativamente .....	42
Figura 23 - Localização dos pontos de medição.....	43
Figura 24 – Anemómetro de hélices .....	43
Figura 25 - Tremonhas de recepção de pós sem e com sistema de despoeiramento .....	45
Figura 26 - Tremonhas sem e com sistema de ventilação aplicado .....	45
Figura 27 – Aspiração efectuada de forma ineficiente e eficiente nas passadeiras .....	46
Figura 28 – Aplicações incorrectas e correctas na aspiração de passadeiras .....	46
Figura 29 - Elevada distância entre a fonte e o ponto de captação .....	47
Figura 30 – Prensa sem e com aplicativo de melhoramento .....	47
Figura 31 - Campânula de captura .....	48
Figura 32 - Válvulas aplicadas em condutas .....	53
Figura 33 - Condutas abertas.....	53
Figura 34 - Condutas mal acopladas ou desacopladas .....	54
Figura 35 - Pontos de perda de carga nas condutas .....	54
Figura 36 – Cumpriu/ satisfaz o teste      Figura 37 – Não cumpriu/ satisfaz o teste.....	69
Figura 38 – Pontos de travessia/varrimento em condutas circulares e rectangulares na utilização de um tubo de pitot .....	70
Figura 39 – Tipos de equipamentos de detecção de pressão estática ( <i>adaptado de Ventilation for controlof the work environmental, 1989</i> ) .....	71

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Velocidades limite de sedimentação .....	5
Quadro 2 – Fração de ar inalável, torácica e respirável .....	7
Quadro 3 - Valores limites de exposição para a sílica .....	9
Quadro 4 - Velocidade de transporte mínimas para vários tipos de poluentes .....	16
Quadro 5 - Velocidades de captura dos contaminantes .....	27
Quadro 6 – Velocidades de captação mínimas a adoptar no caso de captação de contaminantes por meio de dispositivos de encerramento total ou cabines abertas .....	62
Quadro 7 – Velocidades de captação mínimas a adoptar, para várias geometrias de bocais, para diferentes caudais .....	63
Quadro 8 – Soluções de avarias .....	68
Quadro 9- Caso de bocas de aspiração ( $L < 5b$ ) .....	76
Quadro 10 - Caso de fendas de aspiração ( $L > 5b$ ) .....	77
Quadro 11 – Ventiladores e filtros instalados .....	78
Quadro 12 – Concentração de poeiras respiráveis .....	78

## SIGLAS

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists

CAS – Chemical Abstract Service Registry Number

CD – Curta duração

CM – Concentração máxima

COSHH – Control of Substances Hazardous to Health

CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

LEV – Sistema de Ventilação Localizada

MP – Média Ponderada

NIOSH – National Institute of Occupational Safety and Health

NP – Norma Portuguesa

OSHA – Occupational Safety and Health Administration

PEL – Permissible Exposure Limits

REL – Recommended Exposure Limits

TLV – Threshold Limit Values

VLE – Valor Limite de Exposição

## 1. INTRODUÇÃO

A presente Tese de Mestrado está integrada num projecto lançado pelo CTCV (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro), designando-se este por: “*Desenvolvimento e sensibilização para as boas práticas de redução da exposição dos trabalhadores da Indústria Cerâmica à sílica cristalina respirável*”. Nele pretendem escudar-se os sistemas de ventilação instalados em diversas empresas, nomeadamente o tipo de sistema instalado, as suas características e a sua eficácia e capacidade,

### 1.1. Generalidades

A sílica cristalina é um componente essencial de uma grande diversidade de materiais utilizados pelo sector industrial e pelo utilizador comum. Sabe-se há algum tempo que a inalação de poeiras contendo este componente pode causar danos nos pulmões, nomeadamente a silicose. Sabendo que a importância do ar para o Homem é bem conhecida, pode afirmar-se que: “*O Homem pode sobreviver aproximadamente 30 dias sem se alimentar, 3 dias sem beber e apenas 3 minutos sem respirar.*” (Pina e Silva, 2003). Desta forma há uma necessidade elevada de reduzir a exposição do Homem a poeiras contendo sílica cristalina, permitindo a diminuição do risco para a saúde.

A solução, ou forma de prevenção, mais utilizada pelas empresas para a redução das concentrações de poeiras contendo sílica é a implementação de sistemas de Ventilação Industrial (Pina e Silva, 2003). Contudo, estes ou os seus componentes, nem sempre são aplicados correctamente ou são realizadas alterações depois da sua instalação ou ainda não se adequam à situação de utilização. Desta forma o estudo de novos sistemas e equipamentos de Ventilação Industrial, assim como a correcta implementação dos existentes, permitirão mais eficazmente a redução das referidas concentrações de poeiras (Quintela et al, 2003).

É necessário que todo o sector da Cerâmica Industrial aplique a solução referida, para isso é fundamental sensibilizar todos os intervenientes na prevenção, nomeadamente empresários, quadros, chefias e trabalhadores (Macedo, 1985).

---

Segundo Silva et al. (2005) o sector cerâmico, em Portugal, engloba 768 empresas, emprega mais de 33000 pessoas e encontra-se concentrado em Aveiro, Leiria, Coimbra e Porto. Este encontra-se dividido em seis subsectores:

Cerâmica estrutural – produção de telha, tijolo e abobadilhas;

Cerâmica utilitária e decorativa – produção de loiça em porcelana, faianças, grés e terracota;

Pavimentos e revestimentos – azulejos e mosaicos;

Louça sanitária – artigos para usos sanitários;

Refractários e cerâmica técnica – Refractários, isoladores cerâmicos e porcelanas técnicas.

Produção de pasta – mistura e tratamento da matéria-prima

A obra acima referida (Silva et al. 2005) indica ainda que relativamente ao comportamento das empresas nacionais, cerca de 80% delas, utilizam boas práticas, as restantes 20% contém limitações tecnológicas e organizacionais. Apesar disto ainda é reduzido o número de empresas certificadas, embora esta seja uma crescente tendência por motivos ambientais e de prestígio/reconhecimento.

O ambiente interno das empresas, ou seja, as condições de higiene, segurança e saúde no trabalho, é por vezes esquecido, apesar de ser fundamental para o bom funcionamento e produtividade das mesmas.

Como dito anteriormente é fundamental sensibilizar todos os intervenientes na prevenção. Neste sentido o engenheiro tem uma dupla missão numa empresa, por um lado de inovar, através da implementação de novos métodos e processos, e por outro de proteger os trabalhadores das consequências que essas inovações poderão trazer (Macedo, 1985).

Os princípios e regras da ergonomia são a melhor forma que o engenheiro tem para conseguir ligar a produção à segurança, uma vez que esta assegura a simultaneidade da segurança do trabalhador, a sua limitação física (fadiga) e a melhoria da produção.

Na formação dos engenheiros, apesar de algumas universidades já inserirem nos seus planos curriculares alguma informação acerca dos acidentes e doenças profissionais, há ainda uma lacuna, relativamente a esta matéria. Da mesma forma praticamente não são referenciados os problemas sociais e humanos, nem o

comportamento do homem, que são muito importantes em toda a problemática da prevenção (Macedo, 1988).

Na generalidade, todos os engenheiros deveriam ser sensibilizados para a higiene e segurança industrial, principalmente os do sector da produção.

As necessidades da prevenção da sinistralidade podem ser de natureza social, humana e económica. Os interesses sociais e humanos são os mais relevantes uma vez que são uma preocupação dos poderes públicos e das organizações internacionais, já os de natureza económica são menos evidentes, embora relevantes. Os empresários consideram a segurança como um factor de produtividade (Macedo, 1985).

Apesar de tudo, continuam a existir acidentes e doenças profissionais, ou seja, é preciso continuar a prevenir mais e melhor.

Uma forma de prevenir melhor é aplicar “prevenção integrada”. Neste tipo de prevenção pode dizer-se que “todos são responsáveis perante a prevenção” (Macedo, 1985), ou seja, esta passa a ser comum a todos os serviços. A “ligação” mais importante deve ser entre a prevenção e a produção. Quando se fala em produção não pode esquecer-se do grau de risco com que ela é feita, se assim não for está a considerar-se a produção independente da prevenção.

Independentemente de todos os interesses sociais, humanos e económicos, há imposições sociais, tais como o Código do trabalho, que indica que o empregador tem o dever de “assegurar aos trabalhadores condições de segurança e saúde em todos os aspectos relacionados com o trabalho, aplicando as medidas necessárias tendo em conta princípios gerais de prevenção” (cfr. o art.º 281/2 do Código do Trabalho).

Alguns dos deveres do empregador são (cfr. o art.º 127/1 e art.º 282/1 e 3 do Código do Trabalho):

- Proporcionar boas condições de trabalho, do ponto de vista físico e moral;
- Prevenir riscos e doenças profissionais, tendo em conta a protecção da segurança e saúde do trabalhador, devendo indemnizá-lo dos prejuízos resultantes de acidentes de trabalho;
- Adoptar, no que se refere a segurança e saúde no trabalho, as medidas que decorram de lei ou instrumento de regulamentação colectiva de trabalho;

- 
- Fornecer ao trabalhador a informação e a formação adequadas à prevenção de riscos de acidente ou doença;
  - Informar os trabalhadores sobre os aspectos relevantes para a protecção da sua segurança e saúde e a de terceiros;
  - Assegurar formação adequada, que habilite os trabalhadores a prevenir os riscos associados à respectiva actividade e os representantes dos trabalhadores a exercer de modo competente as respectivas funções.

Portugal, como país industrializado possui uma lista de doenças profissionais cuja actualização está a cargo de uma Comissão Permanente de Revisão que integra representantes do governo, serviços e organismos oficiais, entidades patronais, associações sindicais. A que se encontra em vigor foi aprovada pelo Decreto Regulamentar n.º 76/2007, de 17 de Julho, que resultou da revisão da NP 1796/2004. A classificação das doenças é a seguinte:

- Doenças provocadas por agentes químicos;
- Doenças do aparelho respiratório;
  - Factores de risco;
    - Sílica;
    - Amianto;
    - Carvão, grafite, sulfato de bário, óxido de estanho, óxido de ferro, talco, outros silicatos e sais de metais duros;
    - Cortiça, madeira, berílio e seus compostos tóxicos, sulfato de cobre, algodão, cimento, pesticidas, cereais, farinha;
    - Todos os trabalhos que exponham à inalação de poeiras ou aerossóis com acção imunoalérgica;
    - Poeiras e aerossóis com acção imunoalérgica e ou irritante;
- Doenças cutâneas e outras
- Doenças provocadas por agentes físicos
- Doenças infecciosas e parasitárias

Pode dizer-se que poeiras são pequenas partículas sólidas provenientes da segmentação de partículas de maior dimensão. Devido à sua pequena massa, estas são diluídas no ar e arrastadas por ele, por vezes por longas distâncias, sendo bastante sensíveis às variações do mesmo (por exemplo as plumas térmicas geradas pelo funcionamento dos equipamentos). Por acção do seu próprio peso irão depositar-se, esse depósito poderá ser em locais inicialmente não contaminados (Pires et al, 2003).

Dadas as características aerodinâmicas das partículas, estas não são apenas caracterizadas pelo seu tamanho. Assim surge a necessidade de obter uma medida que relacione as propriedades aerodinâmicas das partículas. Esta medida é o diâmetro aerodinâmico, que se define como sendo o diâmetro de uma esfera com massa volúmica igual a 1 g/cm<sup>3</sup>, que tem uma velocidade terminal de queda idêntica à da partícula em questão, independentemente das suas dimensões, forma e massa volúmica reais. Desta forma o diâmetro aerodinâmico de uma partícula relaciona-se com a sua capacidade de penetração no sistema respiratório humano (Pires et al, 2003).

Partículas de diâmetro inferior a 50µm quando sedimentam em ar calmo atingem rapidamente uma velocidade limite por causa da resistência do ar, o seu valor é dado pela seguinte fórmula de Stokes:

$$v_1 = \frac{g}{18 \mu_a} (\rho - \rho_a) D^2$$

$v_1$  – Velocidade limite de sedimentação (m/s);

$g$  – Aceleração da gravidade (m/s);

$\rho, \rho_a$  – massas específicas da partícula e do ar (kg/m<sup>3</sup>);

$\mu_a$  – Viscosidade dinâmica do ar (kg/m.s);

$D$  – Diâmetro da partícula (m).

Esta fórmula é válida apenas para partículas com diâmetro superior a 1µm.

O quadro seguinte contém as velocidades limites de sedimentação em ar calmo para esferas de massa volúmica 1.

**Quadro 1 - Velocidades limite de sedimentação**

Diâmetro (µm)	100	50	20	10	1	0,1
Velocidade limite (m/s)	0,3	0,07	0,01	3exp-3	3exp-5	9exp-7

Nele pode ver-se que as velocidades atingidas pelas partículas mais finas, mais concretamente as respiráveis (de diâmetro aerodinâmico inferior a  $10\mu\text{m}$ ) são muito reduzidas quando comparadas com as da velocidade do ar nos locais de trabalho, mesmo os locais mais calmos, com velocidades de 0,1 ou 0,2 m/s.

Assim podem classificar-se as poeiras de uma forma geral em partículas grossas e finas. As partículas grossas, algumas visíveis a olho nu, com pouco perigo para as vias respiratórias, mas que podem percorrer longos percursos, quando projectadas, devido á sua energia cinética apenas são captadas através de dispositivos de captação colocados na linha de projecção. As partículas finas, na sua maioria invisíveis à vista desarmada, não as identificando imediatamente quando estamos sujeitos a elas, são bastante perigosas para o aparelho respiratório e como praticamente não se movem por elas próprias, basta captar o ar no qual elas se encontram diluídas, para as captar.

A irritação da pele, olhos, ouvidos, nariz e garganta são alguns dos efeitos provocados pela exposição dos trabalhadores a essas partículas, como conseqüências mais graves podem adquirir-se doenças no sistema respiratório, tais como a asma, as pneumocunioses e o cancro.

Felizmente para nós, o sistema respiratório contém diversos mecanismos de retenção de poeiras no ar inalado. O diâmetro aerodinâmico das partículas, a velocidade do ar ambiente e a taxa de respiração, consoante o trabalho a realizar são factores que condicionam a eficácia deste sistema.

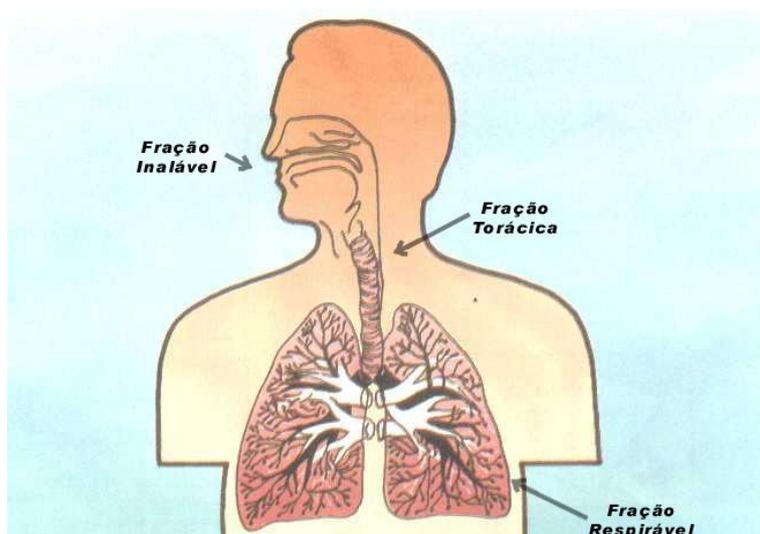


Figura 1 – Localização da retenção de partículas

Desta forma se as partículas contiverem, em média, um diâmetro aerodinâmico superior a 30  $\mu\text{m}$  (partículas inaláveis), estas são retidas antes de chegar a laringe, por filtragem pelos pêlos nasais, por deposição em pequenas cavidades ou por mudanças de direcção, devido a acção das secreções mucosas. As partículas com menores diâmetros (partículas torácicas) depositam-se na camada mucosa que reveste a traqueia e os brônquios, que actua permanentemente e de forma involuntária sob quaisquer agentes externos inalados. Por fim as partículas ditas respiráveis, com diâmetro inferior a 10 $\mu\text{m}$ , avançam pelos bronquiolíticos, até aos alvéolos pulmonares, onde são absorvidas (Pires et al, 2003).

As partículas, relativamente ao seu diâmetro aerodinâmico, podem ser divididas em três grupos, como contempla a Norma Portuguesa NP 1796, 2007. Representado no quadro 2 e na figura 1 encontra-se a fracção de partículas que atinge cada um dos pontos anteriormente mencionados, relativamente ao seu diâmetro aerodinâmico: fracção inalável, torácica e respirável.

**Quadro 2 – Fracção de ar inalável, torácica e respirável**

Diâmetro aerodinâmico da partícula ( $\mu\text{m}$ )	Fracção inalável [PI] (%)	Fracção torácica [PI] (%)	Fracção respirável [PI] (%)
0	100	100	100
1	97		97
2	94	94	91
3			74
4		89	50
5	87		30
6		80,5	17
7			9
8		67	5
10	77	50	1
12		35	
14		23	
16		15	
18		9,5	
20	65	6	
25		2	
30	58		
40	54,5		
50	52,5		
100	50		

“A pneumoconiose é a designação genérica de uma doença respiratória que consiste na acumulação de poeiras nos alvéolos pulmonares, e na reacção dos tecidos à sua

presença.” A diminuição da capacidade respiratória e a sensação de cansaço são os seus principais sintomas e a exposição a poeiras que contenham sílica cristalina pode provocar silicose. Esta é uma doença progressiva, irreversível e pode levar à morte. A tuberculose e o ataque cardíaco são as causas mais frequentes de morte em pessoas que sofrem de silicose (Pires et al, 2003).

Existem valores limites de exposição, que decorreram de vários estudos à exposição de trabalhadores a substâncias tóxicas. Internacionalmente os valores limites mais aceites, foram estabelecidos por diversas instituições, nomeadamente a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), o National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) e a Occupational Safety and Health Administration (OSHA), sendo designados respectivamente por, Threshold Limit Values (TLV), Recommended Exposure Limits (REL) e Permissible Exposure Limits (PEL).

A nível nacional, os valores limites de exposição (VLE) de trabalhadores a substâncias nocivas no ar foram estabelecidos pela Norma Portuguesa NP 1796, 2007, tomando como base os valores limites propostos pela ACGIH. Os VLE's apenas garantem condições aceitáveis de exposição a trabalhadores adultos saudáveis, não contemplando os mais jovens, os mais idosos e indivíduos que contenham doenças respiratórias.

A norma define três categorias de VLE's:

**VLE – média ponderada (VLE-MP)** - valor limite de exposição para um período de 8 horas, integrado numa semana de trabalho de 40 horas, ao qual se considera que praticamente todos os trabalhadores possam estar expostos, dia após dia, sem efeitos adversos para a saúde.

**VLE – curta duração (VLE-CD)** – valor limite de exposição durante curtos períodos de tempo, ao qual os trabalhadores podem encontrar-se expostos, desde que não seja excedido o VLE-MP, sem que ocorram efeitos adversos para a saúde. Este é definido como uma exposição VLE-MP de 15 minutos que não pode ser excedido durante o dia de trabalho, mesmo que a média ponderada seja inferior ao valor limite. 15 minutos e 4 vezes por dia, são os limites temporais de exposição para valores superiores ao VLE-MP e inferiores ao VLE-CD, contendo estas um intervalo mínimo de 60 minutos.

**VLE – Concentração máxima (VLE-CM)** – valor limite de exposição instantâneo, ou seja, valor ao qual não pode haver exposição do trabalhador.

Quando existem várias substâncias no mesmo espaço de trabalho, considera-se que o VLE é excedido quando o somatório da divisão entre a concentração de um componente, pelo respectivo VLE, for superior a um:

$$\sum_{t=1}^n \frac{C_n}{VLE_n} > 1$$

Para a presente tese, na gama de substâncias que a norma contempla, importa destacar o VLE estabelecido para a sílica, este encontra-se representado no quadro seguinte:

**Quadro 3 - Valores limites de exposição para a sílica.**

Substância		VLE			Mr	Base do VLE
Designação	N.º CAS	MP	CD	Notação		
Sílica, cristalina		0,025 mg/m <sup>3(R)</sup>	-	A2	60,08	Fibrose pulmonar; cancro do pulmão.
A – Quartzo	14808-60-7 1317-95-9					
Cristobalite	14461-46-1					

MP – Média ponderada

CD – Curta duração

Notação – Classificação do agente face ao seu carácter carcinogénico

A2 – Esta notação é usada sobretudo nos casos em que existe evidência limitada de carcinogenicidade no Homem e evidência suficiente decarcinogenicidade em animais de laboratório, com relevância para o Homem

Mr – Massa molecular relativa

Na indústria cerâmica, os processos que geram partículas finas encontram-se referidos no anexo A.

## **1.2. Objectivos**

O objectivo geral desta Tese de Mestrado consiste em realizar uma análise das técnicas e tecnologias, que permitam um despoeiramento mais eficaz e, caracterizar a sua aplicação.

Inicialmente pretende-se conhecer o sector da Cerâmica Industrial e investigar a exposição dos trabalhadores à sílica cristalina. Realizar o levantamento no terreno e na bibliografia, das tecnologias e das instalações de despoeiramento. Comparar os casos em que, neste contexto, existem boas práticas, com os casos em que se utilizam práticas menos apropriadas.

Posteriormente tenciona-se elaborar um método de medição das condições do sistema de ventilação, aplicá-lo e avaliar a sua aplicabilidade, os seus resultados e o tratamento destes últimos. Identificar as melhores tecnologias de despoeiramento (nos vários sectores) e verificar a sua implementação na indústria cerâmica.

Por fim pretende-se contribuir para a elaboração de um “Tool-kit” para a Prevenção da Exposição à Sílica Cristalina.

## 2. VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

A ventilação, de uma forma geral, é o meio que permite substituir o ar existente num determinado espaço interior, por ar exterior, com o intuito de diminuir a concentração de um determinado poluente no ar interior.

Como a saúde dos trabalhadores e a produção podem ser prejudicados pela poluição do ar interior, utiliza-se a captação e ventilação dos poluentes e espaços para reduzir a concentração de poluentes nos mesmos, contudo associado a esta redução da concentração de poluentes existem bastantes gastos energéticos. Desta forma exige-se eficácia aos sistemas de despoejamento, assim como a utilização correcta dos mesmos.

De uma forma geral quando um edifício é projectado, também é projectado um sistema de ventilação para o mesmo, uma vez que este último permite controlar a temperatura, possíveis odores e se bem projectado as poeiras aerotransportadas no edifício. O sistema de ventilação pode também ser projectado de forma a captar as emissões do poluente na sua origem, para assim reduzir a sua diluição no ar ambiente.

Desta forma podem distinguir-se dois tipos de ventilação: a ventilação localizada, figura 2 e a ventilação geral ou por diluição, figura 3.

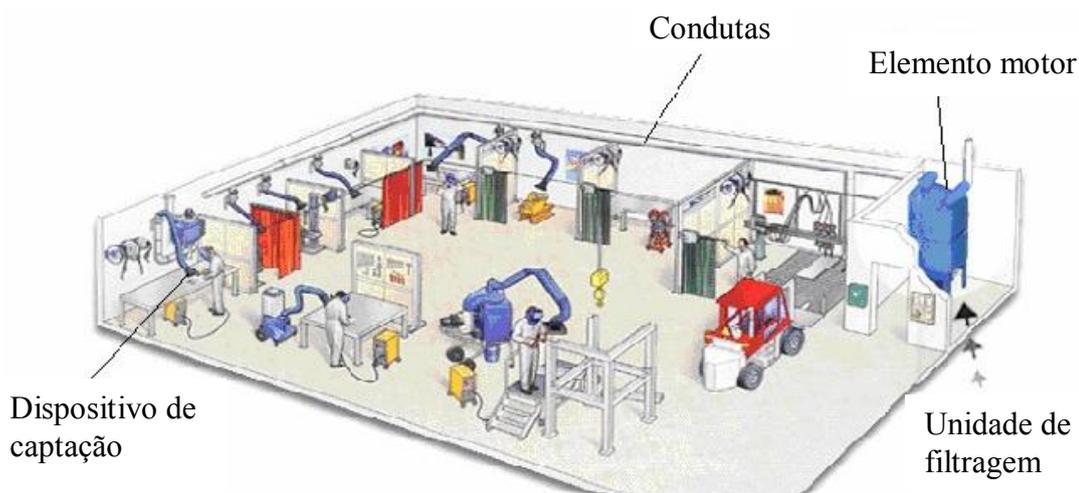


Figura 2 - Ventilação localizada

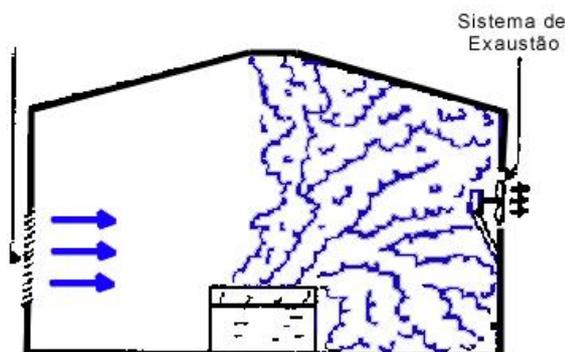


Figura 3 – Ventilação geral

Como a ventilação localizada capta o poluente no seu ponto de emissão, esta vai ter um menor consumo energético relativamente à ventilação geral, uma vez que o caudal necessário é muito menor. Sabendo que a ventilação geral consiste na substituição de ar poluído por ar limpo no espaço a descontaminar até à obtenção de concentrações aceitáveis à laboração, esta deve ser utilizada preferencialmente como complemento da ventilação localizada, para assegurar as referidas concentrações aceitáveis

## 2.1. Princípio geral

A ventilação tem como princípio geral a diferença de pressão, esta estabelece que o ar se desloca das pressões mais altas para as mais baixas. O caudal e a velocidade do ar relacionam-se através da seguinte expressão:

$$Q = V A$$

Em que:

Q – Caudal volúmico ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

V – Velocidade do ar (m/s)

A – Área da secção recta transversal ao caudal da conduta ( $\text{m}^2$ )

O ar é conduzido através de condutas e é actuado simultaneamente por dois tipos de pressão, a pressão estática ( $P_s$ ) e a pressão dinâmica ( $P_v$ ), cuja soma constitui a pressão total ( $P_t$ ).

A pressão estática de um escoamento de ar representa a componente associada à energia potencial. Ela faz-se sentir em todas as direcções independentemente da direcção

ou manigude do escoamento. É função da densidade e da temperatura do gás e existe em todas as partículas que se desloquem ou não no ar. É usada para superar a resistência ao atrito da canalização bem como as obstruções ao longo da mesma. É ainda medida relativamente à pressão atmosférica, positiva quando superior e negativa quando inferior.

$$P_s = \text{pressão manométrica} - \text{pressão atmosférica}$$

Em que:

$P_s$  – Pressão estática (Pa)

A pressão dinâmica é a pressão necessária para acelerar o ar a partir do repouso até uma velocidade concreta. Num escoamento de ar representa a componente associada à energia cinética. Esta apenas se faz sentir no sentido do caudal e à semelhança da pressão estática é afectada pela densidade do gás e pela temperatura, mas é principal função da velocidade do caudal, caso este não exista, a pressão dinâmica é zero. O seu valor é obtido pela subtracção entre a pressão total e a pressão estática e como é uma pressão absoluta nunca pode ser negativa.

$$P_v = P_t - P_s = \frac{1}{2} \rho V^2$$

Em que:

$P_v, P_t$  – Pressão dinâmica e total (Pa)

$\rho$  – Densidade ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V$  – Velocidade (m/s)

A pressão total, como dito anteriormente, é constituída pela pressão estática e dinâmica, sendo obtida pela soma das duas.

$$P_t = P_s + P_v \Leftrightarrow \rho gh = p + \rho \frac{V^2}{2}$$

Desta forma podem separar-se as várias componentes:

$$P_t = \rho gh$$

$$P_s = p$$

$$P_v = \rho \frac{V^2}{2}$$

Em que:  $h$  – altura (m)

Na prática são medidas as pressões, total e a estática, por exemplo através de um tubo de pitot, como demonstra a figura 4 (Burgess et al, 1989).

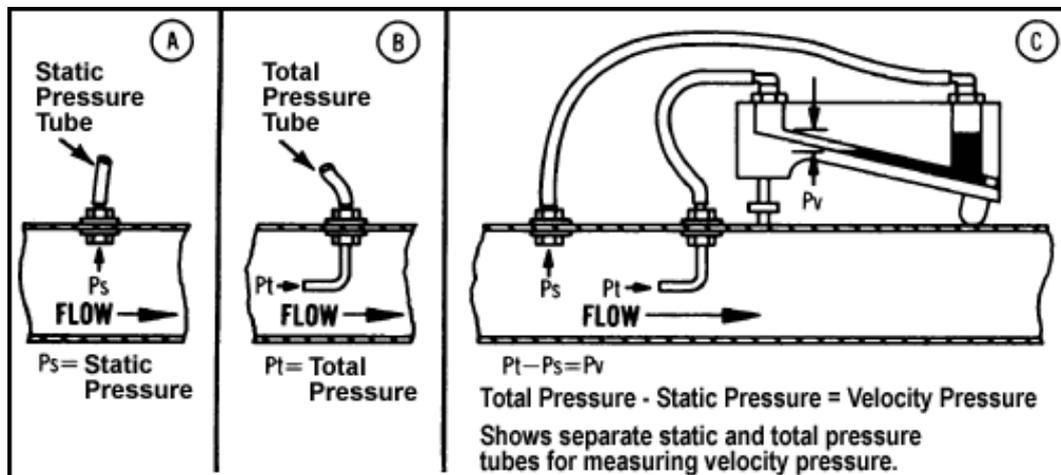


Figura 4 - Tipos pressões medidas (adaptado de Ventilation for control of the work environment, 1989)

Como a ventilação tem como função transportar ar, é importante saber qual a densidade do mesmo. Esta pode ser obtida através da equação dos gases perfeitos:

$$\rho R_a T = P$$

Em que:

$R_a$  – Constante universal dos gases perfeitos para o ar (J/molK)

T – Temperatura absoluta (K)

Como as diferenças de pressão de ponto para ponto num sistema de ventilação, com a excepção dos sistemas com alta velocidade/baixo caudal, raramente ultrapassam os 5%, os efeitos da pressão na densidade são normalmente ignorados, assim como os efeitos da temperatura, a menos que esta tenha uma variação elevada (50°C podem afectar 10% da densidade).

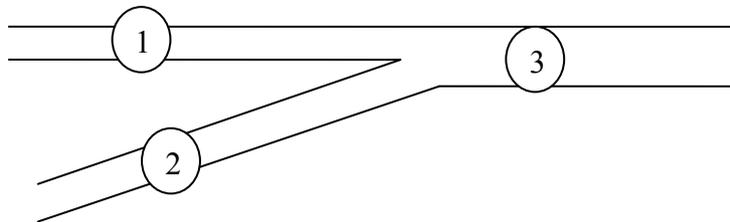
Através da relação de continuidade, quando existem ramificações, pode calcular-se qual o volume de ar que segue para cada conduta, tendo em conta as suas características. Partindo do princípio de conservação da massa (Burgess et al, 1989):

$$\rho V A = \text{constante ao longo do sistema} = M$$

Em que M é um caudal mássico.

Rearranjando a equação pode ter-se:

$$\frac{M}{\rho} = VA = Q = \text{constante ao longo do sistema}$$



Assim são possíveis as seguintes relações:

$$A_1V_1 = Q_1A_2V_2 = Q_2A_3V_3 = Q_3$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

$$A_1V_1 + A_2V_2 = A_3V_3$$

## 2.2. Transporte de poluentes

O transporte dos poluentes (ou contaminantes) diluídos no ar, no caso da indústria cerâmica as poeiras, como mencionado anteriormente, realiza-se pela diferença de pressão entre a zona de captação e o ventilador, gerador da referida diferença de pressão. Para que não exista má captação das partículas ou acumulação das mesmas ao longo das condutas, é necessário estabelecer-se uma velocidade mínima para o escoamento, seleccionar a melhor forma de captação, nomeadamente a forma da boca e a distância à fonte e ter em conta as perdas por atrito, nas ramificações, filtros, curvas e entradas e saídas de ar.

### 2.2.1. Velocidade de transporte

O ar poluído, depois de capturado, é transportado através das condutas até ao ventilador. A velocidade de transporte do ar é função essencialmente da densidade das partículas e das suas dimensões. Para reduzir o consumo excessivo de energia, o ruído, e a abrasão das tubagens, devem evitar-se as altas velocidades. No quadro 4 estão indicadas as velocidades de transporte mínimas para vários tipos de poluentes.

**Quadro 4 - Velocidade de transporte mínimas para vários tipos de poluentes**

<b>POLUENTES</b>		<b>Velocidades de transporte mínimas (m/s)</b>
	<b>Exemplos</b>	
Gás, vapores		5 a 6
Fumos	Dióxidos de zinco e alumínio	7 a 10
Poeiras muito finas e leves	Poeiras finas de borracha, de moldação de baquelite; juta; poeiras de algodão e de sabão, preparação de fibras de amianto	13 a 18
Poeiras industriais médias	Abrasivos para polir a seco; poeiras de rabarragem por mó; poeiras de juta e de granito; corte de tijolos, poeiras de argila e de calcário; embalagens ou pesagem de amianto nas indústrias têxteis	18 a 20
Poeiras pesadas	Poeiras de desmoldagem, de jacto de areia, de alisamento da gusa	20 a 23
Poeiras pesadas ou húmidas	Poeiras de cimento húmido, de corte de tubos de fibrocimento, de cal viva	>23

### 2.2.2. Perdas de carga

As perdas de carga num sistema de ventilação traduzem-se em quedas de pressão e estão directamente ligadas à velocidade do escoamento do ar. Como dito anteriormente estas perdas podem ter várias origens, ou seja, podem considerar-se vários tipos de perdas de carga, nomeadamente as perdas de carga por atrito, existentes em todo o sistema, mas fazendo-se sentir principalmente nas condutas e as perdas de carga particulares, existentes em determinados ponto do sistema.

As perdas de carga por atrito representam a energia libertada sob a forma de calor e são a consequência do atrito existente entre o ar, com determinada viscosidade, e a superfície das condutas e equipamentos por onde ele passa.

Numa conduta rectilínea a perda de carga devida ao atrito com as paredes é proporcional ao comprimento da conduta e pode ser representado pela seguinte equação (Macedo, 1985):

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \rho \frac{V^2}{2} = \lambda \frac{L}{D} \rho P_v$$

Em que:

$\Delta p$  – Perda de carga (Pa)

L e D – Comprimento e diâmetro da conduta (m)

$\lambda$  – Coeficiente de fricção, adimensional que varia entre 0,01 e 0,03

O coeficiente de fricção, depende do tipo de escoamento que está a decorrer nas condutas, este pode ser laminar ou turbulento consoante o número de Reynolds.

Um escoamento laminar caracteriza-se por ser um escoamento de velocidade baixa e realizado por camadas paralelas entre si. Neste tipo de escoamento não ocorrem misturas laterais ou radiais do fluido, neste caso ar. À medida que a velocidade vai aumentando o escoamento vai-se tornando cada vez mais caótico, começa a ocorrer mistura de ar até que deixam de existir camadas e este passa a ser turbulento.

O ponto específico de transição entre o regime laminar e turbulento é difícil de definir, uma vez que este depende da densidade, viscosidade e velocidade do ar assim como da geometria da conduta. Estes factores foram combinados num termo desenvolvido por Osborne Reynolds, que tem por nome Número de Reynolds, que se encontra representado na seguinte equação:

$$Re = VD \frac{\rho}{\mu}$$

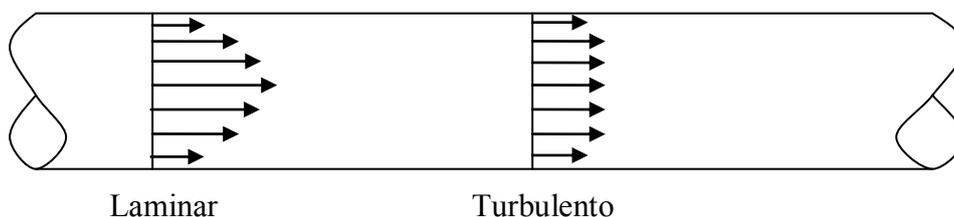
Em que:

Re – Número de Reynolds, adimensional

$\mu$  - Viscosidade do ar, Pa.s

De uma forma geral considera-se que se  $Re < 2000$  o escoamento é laminar, se  $Re > 4000$  o escoamento é turbulento e se  $2000 < Re < 4000$  o tipo de escoamento é definido por outros factores como obstruções e mudanças de direcção.

No esquema a baixo podem ver-se os dois tipos de escoamentos representados, nela as setas indicam a velocidade relativa do escoamento num determinado ponto. Pode ver-se que a velocidade do escoamento não é a mesma no centro e junto às paredes.



No limite pode dizer-se que a velocidade junto às paredes é nula, no centro da conduta ela é máxima e entre esses dois pontos existe um gradiente que depende do tipo de escoamento. Este gradiente deve-se ao atrito existente entre o ar e as paredes da conduta.

No escoamento laminar as perdas são mais baixas porque não ocorre mistura de ar entre as várias camadas, já no escoamento turbulento essa mistura ocorre e leva a que todo o escoamento seja afectado pelo atrito entre a parede da conduta e o ar junto à mesma.

O cálculo do valor do coeficiente de fricção, quando o escoamento é laminar, pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Quando o escoamento é turbulento, o coeficiente de fricção é normalmente obtido a partir do diagrama de Moody (Anexo C), onde é função do Re e da rugosidade da conduta. Geralmente este é o tipo de escoamento encontrado nos sistemas de ventilação.

Na prática o Re o diagrama de Moody não são directamente utilizados na projecção dos sistemas de ventilação, isto porque existem ábacos e monogramas que foram desenvolvidos para o cálculo das perdas de carga por atrito, como por exemplo o ábaco que se encontra no anexo B. Na sua utilização é necessário ter em atenção que normalmente estes dão-nos a perda de carga por unidade de comprimento,  $\Delta p/L$ . Paralelamente a isto os factores de correcção podem ser utilizados para compensar aproximações e as diferentes rugosidades dos materiais que constituem as condutas (Burgess et al, 1989).

As perdas de carga particulares devem-se aos vários pontos do sistema onde o escoamento sofre algum tipo de perturbação. Exemplo dessa perturbação, são as entradas de ar, as curvas, as ligações, expansões e contracções da conduta. Para cada componente do sistema, a perda de carga é proporcional à pressão dinâmica do escoamento, assim pode definir-se um coeficiente de perda de carga por (Teles et al, 1982):

$$K = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2} \Leftrightarrow \Delta p = \frac{K \rho V^2}{2} = K P_v$$

Em que:

K – Coeficiente de perda de carga

Como:

$$V^2 = \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4}$$

Substituindo esta, na equação anterior, temos uma expressão que nos permite obter as perdas de carga particulares:

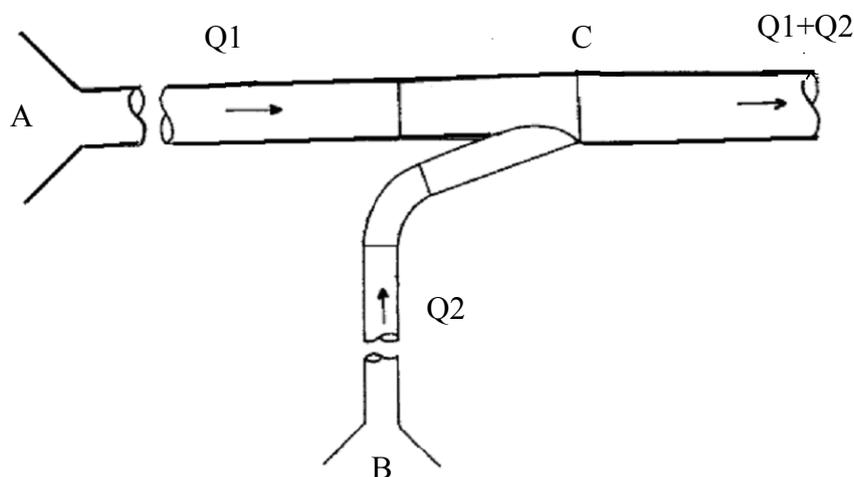
$$\Delta p = \frac{K \rho V^2}{2} = \frac{K 8 \rho Q^2}{\pi D^4}$$

A partir desta equação pode ver-se que a perda de carga é proporcional ao quadrado do caudal e quando este é constante é inversamente proporcional ao quadrado do diâmetro. O coeficiente de perda de carga, varia consoante o tipo de perturbação e como existe uma infinidade de perturbações, as mais comuns estão representadas no anexo D.

Pode dizer-se então que cada perda de carga do sistema de ventilação é o produto entre o comprimento de uma conduta e a perda por unidade de comprimento ou entre a pressão dinâmica e um coeficiente de perda de carga.

A perda de carga total de um sistema de ventilação é então a soma de todas as perdas de carga particulares e por atrito.

Como em todos os sistemas, o sistema de ventilação tende a equilibrar-se, ou seja, quando duas condutas se juntam (figura 5), o caudal reparte-se pelas duas.



**Figura 5 – Junção de duas condutas**

Assim se houver diferença entre as perdas de carga dos dois ramos, o sistema vai equilibrar-se aumentando o caudal no ramo de menor resistência. Caso seja necessário mais caudal do outro ramo, tem de se aumentar a resistência deste. O aumento da resistência pode ser feito através da modificação do desenho do ramo, diminuindo o

diâmetro por exemplo, ou introduzindo neste um cone de equilíbrio, preferencialmente um regulador ou diafragma, para poder criar a perda suplementar necessária.

A figura 6 mostra alguns cuidados a ter em conta quando se estão a dimensionar as condutas de um sistema de ventilação, de forma a reduzir a perdas de carga. Um desses cuidados é a mudança de direcção do escoamento que deve ser a menos brusca possível (Macedo, 1985).

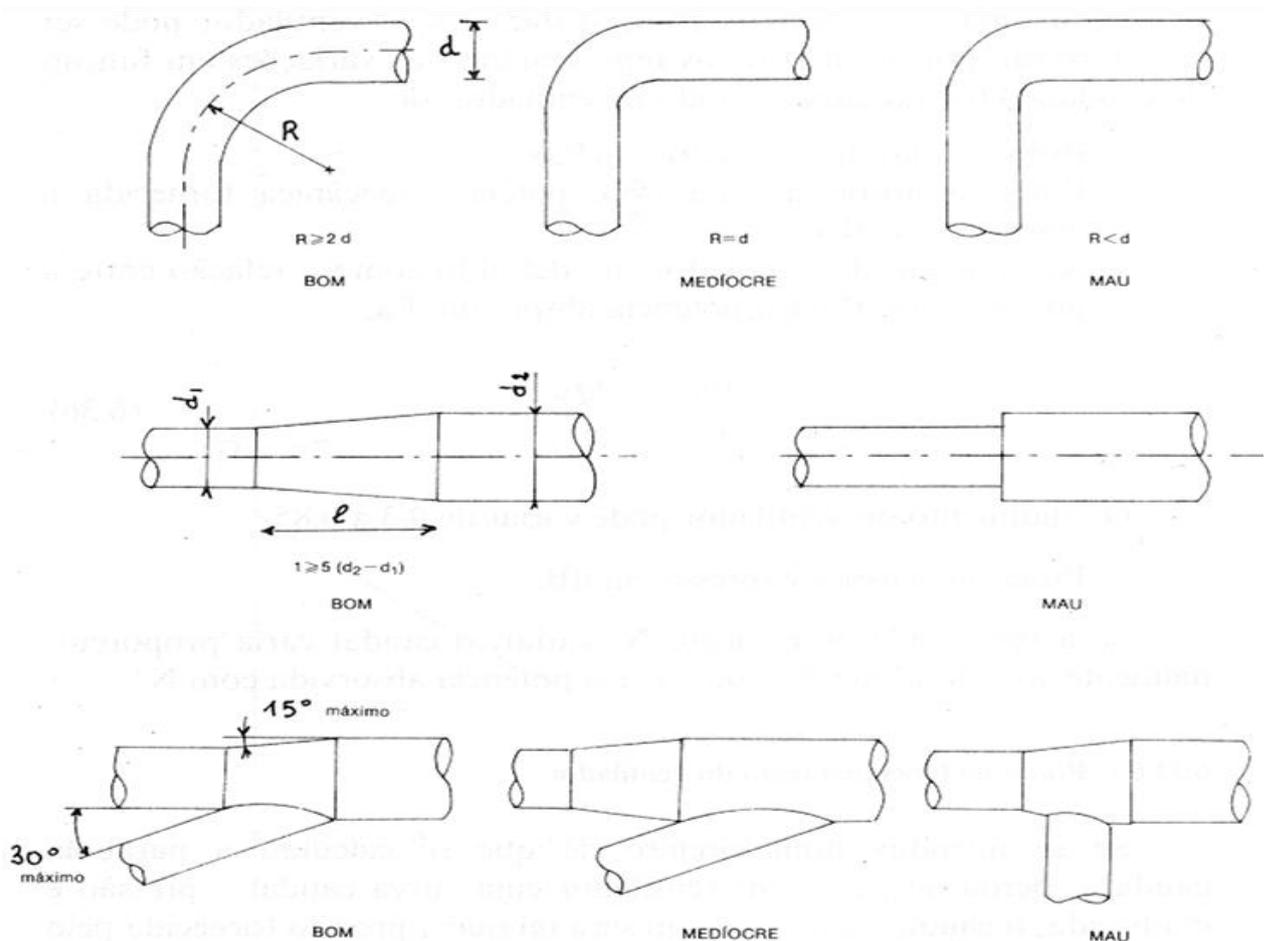


Figura 6 – Boas e más formas de dimensionamento de condutas

### 2.3. Ventilação geral

A ventilação geral está associada ao movimento de grandes volumes de ar e tem como objectivo a diluição ou deslocação de contaminantes diluídos no ar, e também permitir algum conforto térmico. É utilizada para baixas concentrações de poluentes,

embora não seja recomendada quando existem grandes quantidades de poluentes ou poeiras que possam difundir-se rapidamente por uma grande área. A má utilização deste tipo de ventilação pode levar à exposição de trabalhadores distantes da fonte de emissão.

O movimento natural do ar pode ser aproveitado para este tipo de ventilação através da introdução de ar fresco no nível inferior e aberturas de saída no tecto, contudo é necessário ter em conta as condições climáticas que por vezes provocam desconforto térmico, o diferencial de temperatura (interior/exterior), o diferencial de altura entre a entrada e a saída de ar e as construções ou obstáculos naturais. Este tipo de ventilação é chamado de ventilação natural e deve ser preferencialmente utilizado principalmente por razões energéticas. Por sua vez quando o ar é movimentado por acção de ventiladores ou máquinas próprias, chama-se ventilação forçada. Este tipo de ventilação é mais utilizado para grandes áreas ou quando é necessário reciclar grandes volumes de ar.

Quando se aplica a ventilação geral, deve ter-se o cuidado de direccionar os poluentes para longe das zonas de respiração dos trabalhadores (situação ideal), embora seja bastante difícil que os poluentes sigam um caminho ordenado desde a fonte até à extracção (situação real), como se pode ver na figura seguinte.

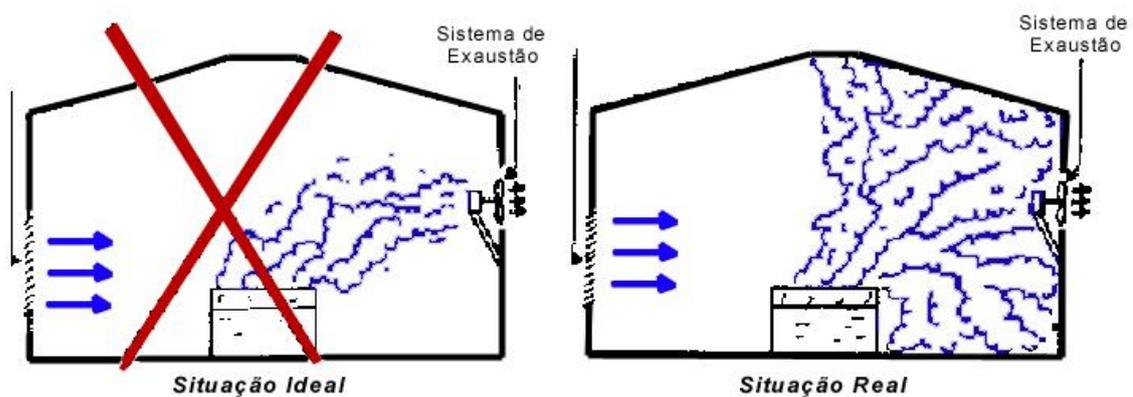


Figura 7 - Ventilação geral - ideal e real

Se os postos de trabalho estão muito próximos da fonte de emissão de poluentes e quando as quantidades de emissão são muito elevadas, através da ventilação geral não se conseguem obter níveis admissíveis para a laboração.

A toxicidade do poluente é outro factor que pode determinar o tipo de ventilação e o factor de segurança a utilizar, a ventilação geral apenas pode ser utilizada quando a toxicidade é reduzida. O factor de segurança toma normalmente valores entre 3 e 10.

De uma forma geral há quatro formas de realizar ventilação:

- Insuflação e exaustão natural do ar;
- Insuflação mecânica e exaustão natural;
- Insuflação natural e exaustão mecânica;
- Insuflação e exaustão mecânicas.

Um dos tipos de exaustores utilizados nos sistemas de ventilação geral, são os exaustores eólicos (figura 8). Estes permitem aproveitar o vento, independentemente da sua direcção e assim poupar energia, contudo como o vento é variável e imprevisível, estes ventiladores não dão garantidas de uniformidade no seu funcionamento, o que por vezes leva à implementação de exaustores motorizados, como o da figura 10.



**Figura 8 - Ventiladores eólicos**

Tem de existir um equilíbrio relativamente ao caudal, distribuição e orientação entre a exaustão, natural ou forçada e a insuflação, também natural ou forçada. Esta última é normalmente adquirida através das portas, janelas ou persianas existentes em qualquer recinto fechado. Caso não se verifique esse equilíbrio a ventilação será prejudicada, logo é essencial que se tomem medidas, como a implementação de insuflação forçada (figura 9).

Uma vez que a ventilação geral envolve o movimento de grandes de massas de ar, esta deve ser utilizada como complemento à ventilação local (Pina e Silva, 2003).



Figura 10 - Exaustor de telhado motorizado

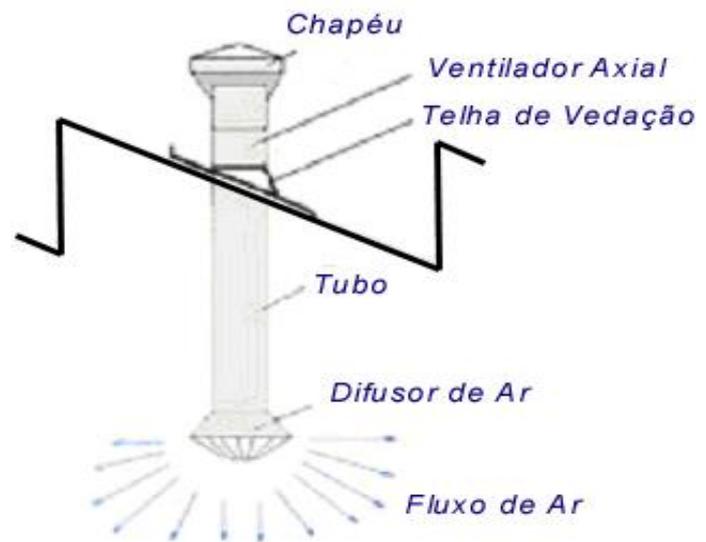


Figura 9 - Insuflador de telhado

## 2.4. Ventilação localizada

A ventilação por aspiração localizada, ou ventilação localizada, como dito anteriormente, é um processo que necessita de movimentar menores quantidades de ar que a ventilação geral, o que leva a um menor consumo energético. Contudo quando instalado o sistema de ventilação, o processo produtivo não deve ser alterado, para assim garantir a eficiência do sistema.

Este tipo de ventilação tem como principal objectivo a captação dos contaminantes o mais próximo possível da fonte de emissão e é preferencialmente instalado entre a fonte e o trabalhador. Como a ventilação localizada transporta os contaminantes até um retentor ou colector, estes podem ser dirigidos novamente para as linhas de produção, ou seja, este sistema permite uma recuperação dos materiais e uma redução nas emissões de contaminantes para o exterior. Permite ainda proteger o equipamento do processo, assim como a qualidade do produto a ser fabricado.

Para a concepção de um sistema de aspiração localizada existem alguns princípios que devem ser tidos em conta. Esses princípios são os seguintes:

- Envolver ao máximo a zona de produção dos contaminantes, o que permite aumentar a eficácia dos dispositivos de captação e diminuir os caudais;
- Colocar o dispositivo de captação o mais próximo possível da fonte de emissão do poluente;

- Não colocar o trabalhador entre a fonte e a captação do contaminante, ou seja, é necessário verificar se a deslocação do ar está a decorrer no sentido contrário ao das vias respiratórias do trabalhador;
- Orientar o sistema de aspiração tendo em conta os movimentos naturais os poluentes, por exemplo quando estes são mais densos que o ar, o dispositivo de captação deve ser colocado na parte inferior do ponto de emissão;
- Estabelecer uma velocidade de captura que seja suficiente para capturar os contaminantes, tendo em conta os efeitos da dispersão, possíveis correntes de ar e a direcção da emissão;
- Assegurar que o caudal de ar que entra seja 10% superior ao caudal de ar aspirado, para que a captação seja eficiente. Este princípio assegura a redução de correntes de ar a grande velocidade, provenientes de aberturas, que podem provocar desconforto térmico, e evita a dispersão do contaminante;
- Afastar as saídas de ar poluído das entradas de ar novo, para que este último não seja contaminado;
- Evitar correntes de ar e o desconforto térmico através da colocação de anteparos e do aquecimento do ar de entrada.

#### **2.4.1. Componentes de um sistema de ventilação localizada**

A ventilação por aspiração localizada implica a existência de um sistema que efectue a aspiração do ar contaminado junto à fonte de emissão, para isso é necessário que existam uma série de componentes que permitam a captação, o transporte, a filtragem e o movimento desse ar.

Os principais componentes de um sistema de ventilação localizada são os seguintes(figura 11):

- **Dispositivos de captação** – estes podem envolver parcial ou totalmente a fonte de emissão ou estar colocado apenas próximo desta. São também o ponto de entrada do ar contaminado capturado.
- **Condutas** – nestas, é transportado o ar até ao dispositivo de limpeza do ar;
- **Dispositivo de limpeza do ar** – este componente retém ou dilui os contaminantes existentes no ar, antes de este ser lançado para a atmosfera;

- **Elemento motor** – provoca o movimento do ar através da criação de uma diferença de pressão.

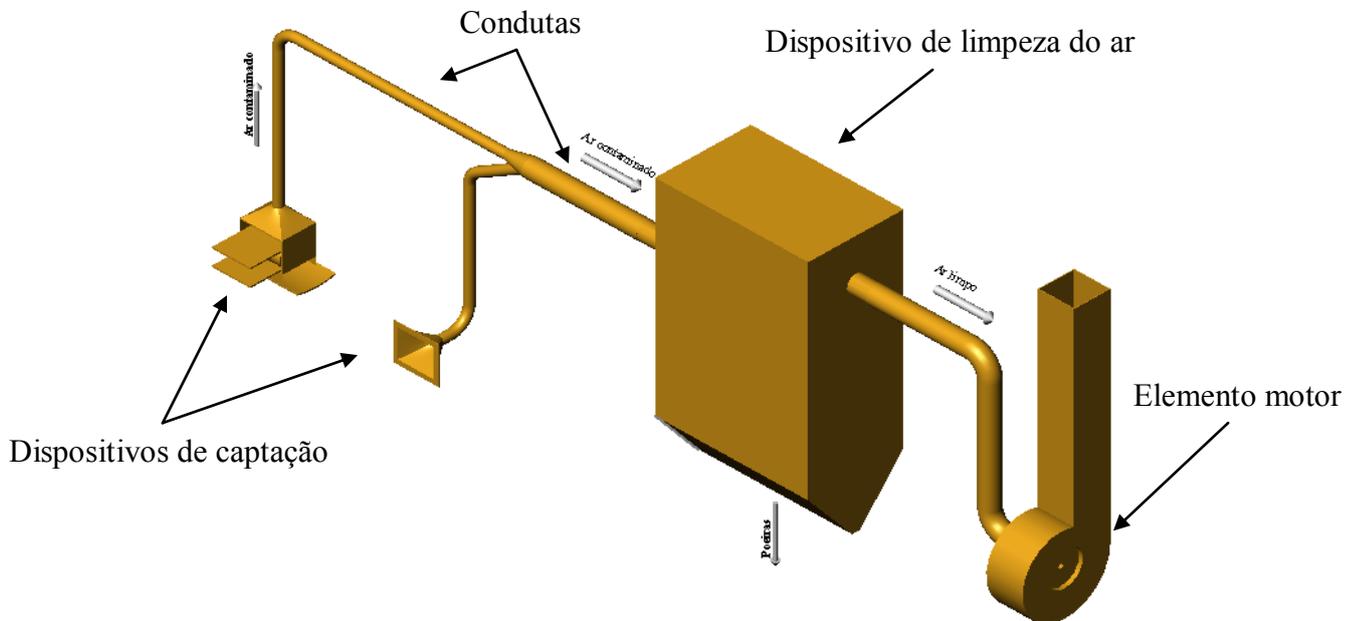


Figura 11 - Sistema de ventilação por aspiração localizada (adaptado de *Pina e Silva, 2003*)

Cada um destes componentes tem um papel muito importante num sistema de ventilação localizada. O elemento motor, normalmente um ventilador, provoca uma pressão negativa nas condutas, levando a que se estabeleça um escoamento no interior das mesmas, no sentido do ventilador, este por sua vez leva à aspiração nos dispositivos de captação, que se encontram nos pontos de emissão do contaminante. Normalmente, antes do ventilador, encontra-se o dispositivo de limpeza do ar, que permite a redução do desgaste/abrasão das pás do ventilador, contudo existem sistemas em que o dispositivo de limpeza do ar se encontra depois do ventilador. Este último caso encontra-se aplicado quando o contaminante não é corrosivo ou provoca pouco desgaste.

Relativamente ao elemento motor deve garantir-se que este seja bem projectado, pois caso contrário, este poderá ter um consumo excessivo de energia, ser ruidoso e mais dispendioso, quando sobredimensionado,

A manutenção num sistema deste tipo é fundamental porque assegura que ele se mantenha nas condições de projecto, ou seja, nas condições de maior eficiência. Para que esta eficiência se mantenha, normalmente o sistema não pode ser utilizado para um

contaminante diferente daquele para o qual foi projectado, ou seja, este pode não recolher as partículas da mesma forma ou simplesmente não as recolher.

Quando existem vários pontos de captação, é necessário que todos esses pontos se encontrem à mesma pressão, ou pelo menos que a pressão não varie, para que a velocidade de aspiração seja constante.

#### **2.4.1.1. Dispositivo de captação**

Os dispositivos de captação são um dos componentes mais importantes do sistema porque permitem a captação do ar contaminado. Estes dispositivos podem ter inúmeras formas e tamanhos, uma vez que têm de estar adaptados à fonte de emissão. Quando isto não acontece a aspiração não funciona correctamente perdendo eficácia e consequentemente o controlo das emissões, o que leva à situação de risco de exposição dos trabalhadores.

Na projecção de um sistema de ventilação, quando se selecciona ou projecta o dispositivo de captação, é necessário ter em conta os seguintes aspectos (Pina e Silva, 2003):

- Tipo, tamanho e posição da fonte emissora;
- Características físicas e químicas dos poluentes emitidos (partículas, nevoeiros, gases ou vapores);
- Velocidade da emissão do poluente;
- Direcção da corrente criada pelo movimento de emissão;
- Local dos postos de trabalho relativamente à fonte emissora;
- Posição do trabalhador quando executa a tarefa;
- Movimento da massa de ar criado pela ventilação geral existente no local.

A velocidade de captação define-se como a velocidade do ar no ponto de emissão dos contaminantes, suficiente para os transportar para a entrada do dispositivo de captação. O seu valor mínimo depende da velocidade com que são libertadas as partículas, e da intensidade das perturbações do campo de escoamento devido às correntes de ar. Logo a velocidade de emissão é um factor preponderante para se estabelecer uma velocidade de captação. Os valores que a ACGIH estabelece como mínimos, para a velocidade de captura, apresentam-se no quadro 5.

Quadro 5 - Velocidades de captura dos contaminantes

Condição de dispersão do contaminante	Velocidade de captura (m/s)
Libertado sem velocidade inicial para ar estagnado	0,25-0,5
Libertado a baixa velocidade em ar com velocidade moderada	0,5-1
Libertado a média velocidade numa zona com fortes correntes de ar	1,0-2,5
Libertado a elevada velocidade numa zona com muito fortes correntes de ar	2,5-10

Dalla Valle foi um pioneiro neste campo, desenvolvendo uma expressão, que representa a velocidade do ar, devida exclusivamente à exaustão, ao longo de um eixo de simetria, em campânulas com secções circulares, quadradas e rectangulares.

$$V = \frac{Q}{10 X^2 + S}$$

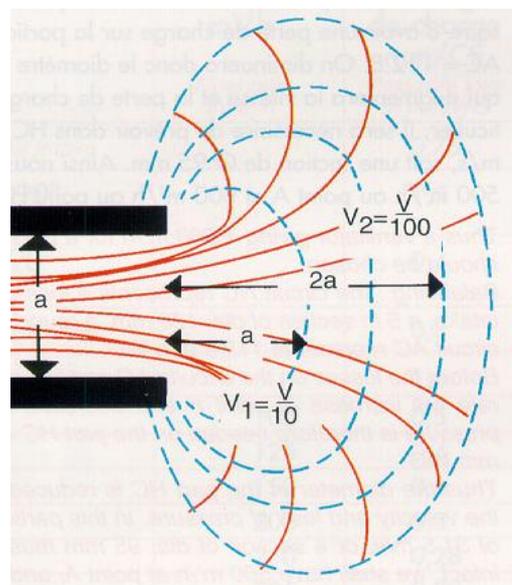
Em que:

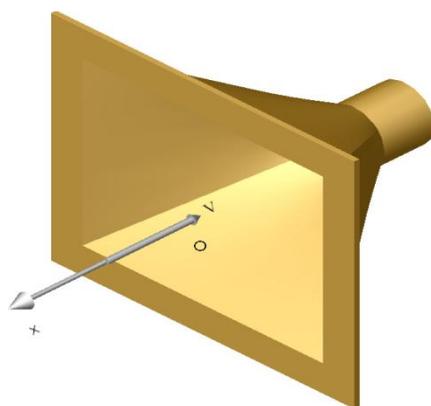
X – Distância ao centro da boca de aspiração, m

S – Secção da boca de aspiração, m<sup>2</sup>

Na figura 12 pode ver-se que a velocidade de captação diminui consideravelmente com a distância ao ponto de aspiração.

Uma forma de melhorar o desempenho da captação é introduzir um deflector em redor da entrada do ar (figura 13). A sua presença restringe a extracção do ar à zona frontal da entrada, ao contrário do que se verifica na sua ausência, em que o ar é captado em todas as direcções. Dalla Valle estipula que, com este deflector, a velocidade do ar sofre um acréscimo de cerca de 1/3 (Pires et al, 2003).





**Figura 13 - Campânula, com deflector em redor da entrada do ar (adaptado de Pina e Silva, 2003)**

Posto isto, como existem dispositivos de captação com inúmeras geometrias, não existe uma expressão que permita calcular a velocidade de captação num qualquer ponto de emissão. Contudo, através de vários estudos e experiências, foram elaborados quadros que de acordo com a geometria e dimensão do dispositivo de captação, nos dão a relação entre o caudal de aspiração e a velocidade do ar induzida pelo dispositivo.

De uma forma geral pode dizer-se que existem quatro tipos de dispositivos ou exaustores de captação: envolvimento total, cabines fechadas, cabines abertas e exteriores à fonte de emissão. Nos três primeiros o ar entra por fendas em faces livres de forma a compensar o ar contaminado que é extraído pelo sistema de ventilação. Esta extracção pode ser feita por qualquer uma das superfícies, normalmente mais que uma de cada vez, que envolvem a fonte de emissão do contaminante.

### **Dispositivos de envolvimento total**

Estes dispositivos envolvem totalmente a fonte de emissão de contaminante, contendo apenas pequenas aberturas para deixarem entrar e sair o produto. Estes sistemas são os únicos aceitáveis para produtos muito tóxicos e os seus caudais são geralmente baixos. Geralmente a velocidade varia entre 0,5 a 1 m/s, se o contaminante for moderadamente tóxico e não for directamente projectado para a parede. O quando 5 do anexo E, dá exemplos de velocidades mínimas a adoptar.

O caudal de aspiração pode ser obtido por:

$$Q = V_e S$$

Em que: S – Área total das aberturas (m<sup>2</sup>)

V<sub>e</sub> – Velocidade da entrada de ar através das aberturas para o interior (m/s)

### **Cabines fechadas**

Nestas cabines, o trabalhador e o elemento contaminante encontram-se dentro de um local fechado, somente com algumas aberturas para a entrada e saída de ar por exaustão. O sentido da deslocação do ar no interior destas cabines é imperativo que seja escolhido tendo em conta que o operador não se encontre entre a fonte de emissão e a aspiração. A velocidade de captação é na maioria dos casos de 0,5m/s, ao nível das vias respiratórias do operador.

O caudal de aspiração pode ser obtido por:

$$Q = V_r S$$

Em que:  $S$  – Área da secção onde ficam as vias respiratórias (m<sup>2</sup>)

$V_r$  – Velocidade do ar ao nível das vias respiratórias do operador (m/s)

### **Cabines abertas**

A diferença destas cabines face às anteriores é o facto de esta conter uma das faces aberta, local por onde entra o ar, para que se possa ter acesso à operação. Esta deve ser suficientemente profunda, de modo a conter a zona natural de contaminação. O quadro 6 do anexo E, dá também exemplos de velocidades mínimas, para este tipo de dispositivos. Esta velocidade deve ser uniforme em toda a cabine.

O caudal de aspiração pode ser obtido por:

$$Q = V_f S$$

Em que:  $S$  – Área da face abertura (m<sup>2</sup>)

$V_f$  – Velocidade do ar na face aberta (m/s)

### **Dispositivos exteriores à fonte de emissão**

Estes dispositivos, também chamados de campânulas, bocais de aproximação ou exaustores de captura, apenas devem ser utilizados quando não for possível optar pelos anteriores, uma vez que são menos eficazes e mais susceptíveis de perturbações. A velocidade de captação do ar contaminado a considerar, será a que se fizer sentir no ponto de emissão. A sua colocação deve ser o mais próximo possível da fonte de emissão do contaminante, mas deve também permitir a realização da tarefa ali destinada e, acima de

tudo, deve encaminhar o fluxo de ar contaminado na direcção contrária às vias respiratórias do trabalhador.

Na projecção deste tipo de dispositivos de captação, devem seguir-se as seguintes operações:

1. Posicionar o dispositivo seguindo os princípios enunciados no subcapítulo 2.4;
2. Determinar a velocidade de captação em função do processo e do modo de formação dos contaminantes;
3. Calcular o caudal de aspiração necessário a partir desta velocidade e da distância entre o dispositivo e a fonte emissora;
4. Em função dos critérios de distribuição das velocidades, das perdas de carga e da velocidade de transporte do ar contaminado, determinar a partir do caudal as dimensões das aberturas do dispositivo de captação e das condutas.

As velocidades de sucção devem ser repartidas de igual forma pela zona de emissão dos contaminantes ou devem ser superiores aos valores mínimos indicados no ponto de emissão mais distante do dispositivo de captação (Macedo, 1985).

A figura 14 mostra alguns tipos de bocais de aproximação.

O quadro 7 do anexo E, mostra as velocidades de captação mínimas a adoptar para diversos tipos de bocais de aproximação padrão e para vários caudais.



**Figura 14- Geometrias de vários bocais de aproximação**

No anexo J encontram-se dois quadros (9 e 10) que contém algumas das geometrias mais utilizadas, neste tipo de dispositivos, assim como a relação entre o caudal de captação e a velocidade induzida por ele.

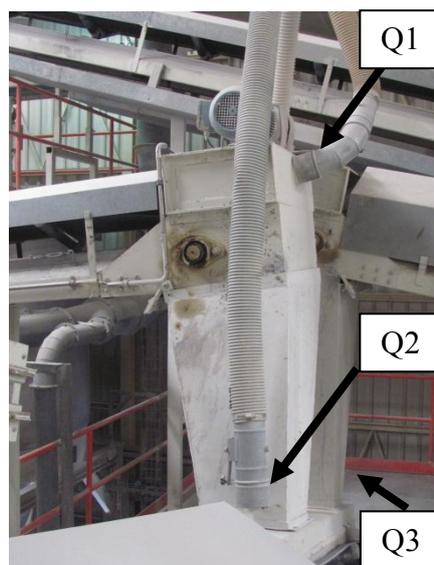
Nas indústrias cerâmica o transporte de materiais sólidos é normalmente efectuado através de passadeiras, consoante o material transportado, a transição entre elas, a carga e a descarga, são considerados pontos de emissão de contaminantes, logo é necessários existirem, nesses pontos, dispositivos de aspiração.

É aconselhável limitar a altura de queda a 1m, de forma a evitar uma produção considerável de poeiras. Quando não é possível a aspiração deve ser efectuada em dois pontos (figura 15).

Os caudais de ar (Q1 e Q2) devem ser de  $0,5\text{m}^3/\text{s}$  por metro de largura da passadeira se a velocidade da passadeira for inferior a 1 m/s. Caso seja superior o caudal deve ser de  $0,75\text{m}^3/\text{s}$  por metro de passadeira. Para materiais secos e pulverulentos os caudais devem ser aumentados numa relação de 1,5 a 2 e deve adicionar-se uma aspiração adicional (Q3), com o caudal de  $0,33\text{ m}^3/\text{s}$  para passadeiras de largura entre 0,3 e 1m e de  $0,5\text{ m}^3/\text{s}$  para passadeira de largura superior a 1m. A velocidade do ar nas aberturas deve ser da ordem de 0,75 a 1m/s

Quando a transição se faz de um elevador para uma passadeira (Figura 16), o caudal de ar no ponto superior (Q1) é função da capacidade do mesmo, ou seja, o caudal de der de  $0,5\text{m}^3/\text{s}$  por  $\text{m}^2$  de secção da capota do elevador.

Quando o transporte se faz na horizontal e de forma isolada, é aconselhável de 10 em 10m instalar um ponto de captação, de forma a manter uma ligeira depressão no seu interior e evitar emissão de partículas.



**Figura 15 -Pontos de aspiração na transição de material entre passadeiras**



**Figura 16 – Pontos de aspiração na transição de um elevador para uma passadeira**

As tremonhas (figura 17) são normalmente o dispositivo de alimentação do processo e também locais onde a emissão de poeira é elevada. Estas emissões devem-se à altura de queda e ao grande volume de material ali colocado. Assim deve aplicar-se uma campânula envolvente, de acordo com as dimensões do equipamento de abastecimento. O caudal deve estar compreendido entre 0,8 e 1,2 m<sup>3</sup>/s por m<sup>2</sup> de superfície frontal da campânula de aspiração (Macedo, 1998).



Figura 17 - Tremonha de abastecimento

#### 2.4.1.2. Conduitas

O ar contaminado extraído pelos dispositivos de captação é conduzido através das condutas até ao dispositivo de limpeza do ar, seguidamente para o elemento motor e por fim para o exterior.

Na projecção deste componente, o material a seleccionar deve ser resistente às condições de utilização, nomeadamente ao tipo de contaminante e à temperatura de serviço. O aço galvanizado é o material mais utilizado nos sistemas de captação de poeiras, de igual forma, geometricamente as condutas mais utilizadas para este contaminante são as de secção circular, pois têm grande resistência estrutural e menor perda por fricção (Pires et al, 2003). De forma a reduzir ao máximo as perdas de carga, quando se elabora o desenho do percurso que é necessário cobrir, este deve evitar mudanças bruscas de direcção, sempre que possível com um raio superior a 20°, ou seja, optando sempre pelo maior raio possível. Isto sempre tendo em conta as limitações devidas ao espaço disponível. A área da secção transversal dos diversos segmentos do sistema deve garantir o equilíbrio do sistema, ou seja, que a pressão desenvolvida pelo ventilador seja suficiente para assegurar as condições de projecto definidas para os vários dispositivos de captação que compõem o sistema (Pina e Silva, 2003).

A velocidade de transporte não pode permitir a deposição de partículas, o que leva a que as velocidades estabelecidas no projecto sejam sempre acima das de referência. No transporte de poeiras contendo sílica é recomendado que a velocidade de transporte se encontre entre 18 e 20 m/s.

No quadro do anexo F encontram-se alguns valores de velocidades aconselhadas no interior de condutas de diversos diâmetros.

#### **2.4.1.3. Dispositivo de limpeza do ar/Filtro**

Os dois principais motivos para a existência destes dispositivos são a diminuição da poluição atmosférica e o reaproveitamento das partículas que se encontram diluídas no ar contaminado, recolhido pelo sistema de ventilação. Essas partículas poderão voltar ao processo de produção. Os tipos de dispositivos de limpeza do ar contaminado são os seguintes (Pires et al, 2003):

- Separadores gravíticos;
- Separadores centrífugos;
- Separadores por filtração;
- Separadores electrostáticos;
- Separadores por via húmida.

Os mais aplicados na indústria são os filtros e os separadores por via húmida.

Os **filtros** contêm mangas alongadas (figura 18), de tecido, que à medida que são atravessadas pelo ar contaminado retêm o contaminante. A limpeza das mesmas pode ser feita através do movimento vibratório da estrutura que as suporta ou através de um jacto brusco de ar comprimido. Esta limpeza pode ser feita de forma cíclica ou apenas quando a colmatação das mangas atingir um determinado valor para o qual está calibrado o sistema.

Relativamente aos ciclones, a eficácia de retenção dos filtros é maior, inclusive para partículas com dimensões inferiores a 10µm. As suas desvantagens são o tamanho, que é relativamente grande e os custos de manutenção, que também são mais dispendiosos devido à substituição periódica de mangas. São também inadequados para filtrar partículas que apresentem uma taxa de humidade elevada.

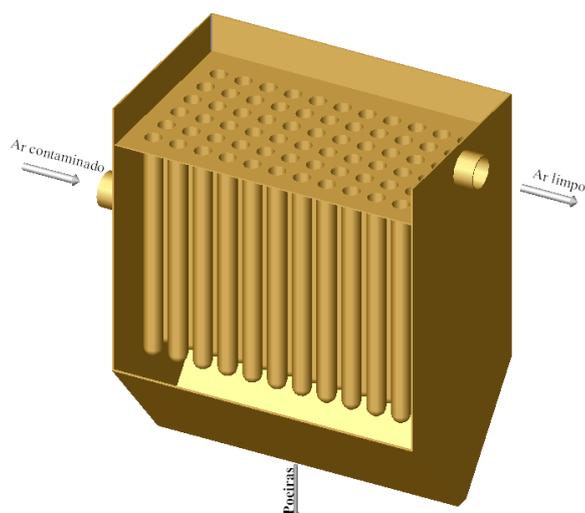


Figura 18 - Esquema de um filtro de mangas

Os **separadores por via húmida** têm como princípio o contacto de um líquido (normalmente água) disperso com as partículas a recolher. Eles são indicados para a limpeza de ar a temperaturas elevadas ou de ar que contenha matérias que apresentem risco de explosão ou inflamação.

Têm como vantagem a dimensão reduzida, mas como grandes desvantagens a introdução de perdas de carga elevadas e a elevada quantidade de energia necessária para recolher partículas de pequena dimensão.

No anexo G encontra-se um quadro com a indicação do dispositivo de limpeza a utilizar para as várias dimensões e para vários poluentes.

#### 2.4.1.4. Elemento motor

O componente que provoca o movimento do ar num sistema de ventilação é geralmente um ventilador. Este deve ser seleccionado para o sistema de ventilação, segundo os seguintes parâmetros:

- Tipo de poluente;
- Dispositivo de limpeza do ar;
- Percurso de conduta;
- Tipo de chaminé exigido;
- Velocidade requerida.

O equilíbrio entre a velocidade necessária para transportar as partículas contaminantes suspensas e uma velocidade exagerada que provoque um gasto

desnecessário e maiores perdas de energia, ruído e abrasão das condutas é um ponto-chave na implementação de um ventilador.

Existem dois tipos de ventiladores, normalmente aplicado à indústria cerâmica, os ventiladores centrífugos e axiais.

Os ventiladores centrífugos (Figura 19) são amplamente usados, devido ao motor nunca se sobrecarregar (originado paragens), e à sua elevada fiabilidade, que permite o funcionamento contínuo durante décadas sem grandes serviços de manutenção. Noutras indústrias podem existir gases corrosivos nesse caso os elementos do ventilador podem ser de plástico



Figura 19 - Ventilador centrífugo

Os ventiladores axiais (Figura 20) são principalmente utilizados em pequenos sistemas, que não contêm gases corrosivos ou partículas erosivas. São fáceis de aplicar, no entanto, são mais ruidosos que os ventiladores centrífugos.



Figura 20 – Ventilador axial

O ventilador deve ser o último componente do sistema de ventilação e deve ser colocado entre o dispositivo de limpeza do ar e a conduta de exaustão. O objectivo é criar uma pressão negativa relativa ao ambiente de trabalho, em todo o sistema, para o caso da existência de uma fuga. Este procedimento permite que, devido à diferença de pressão, o ar contaminado nunca seja expelido para o ambiente de trabalho.

Para uma determinada velocidade de rotação,  $N$ , o ventilador pode ser caracterizado por quatro curvas que representam as variações em função do caudal,  $Q$ :

- Pressão total do ventilador  $P_t$  (Pa);
- Altura de elevação,  $H$  (m);

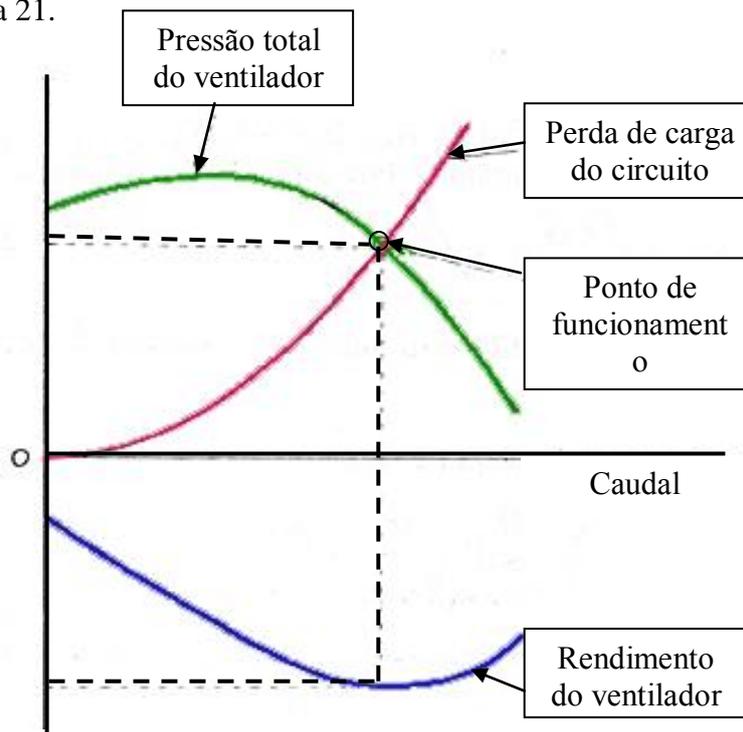
- Potência absorvida,  $P_a$  (W), potência mecânica fornecida ao ventilador;
- Rendimento do ventilador,  $\eta_v$ , definido como a relação entre a potência útil,  $P_u$ , e a potência absorvida,  $P_a$ ;

$$\mu_v = \frac{P_u}{P_a} \times \frac{Q_{pt}}{P_a}$$

De uma forma geral os ventiladores têm rendimentos que variam de 0,3 a 0,85.

Quando a velocidade de rotação,  $N$ , varia, com ela variam também o caudal,  $Q$ , a pressão total,  $P_t$ , e a potência absorvida  $P_a$ .

Para a mesma velocidade quando ser representa no mesmo gráfico a parábola caudal – perda de carga, de um sistema de ventilação e se conhece a curva caudal - pressão de um ventilador, que é geralmente fornecida pelo fabricante do ventilador, o ponto em que as duas curvas se cruzam, indicam o ponto de funcionamento do ventilador, ou seja, o ponto em que o caudal é igual para ambos (sistema e ventilador). Esta representação pode ver-se na figura 21.



**Figura 21 – Ponto de funcionamento de um ventilador**

A potência a prever para o motor do ventilador deverá ser pelo menos igual a:

$$P = \frac{Q}{\eta_v} \times \frac{p_t}{\eta_t}$$

Em que:  $\eta_t$  – rendimento das transmissões.

### **3. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO**

Os sistemas de controlo de poeiras podem também ser denominados por sistemas de ventilação ou simplesmente sistemas de despoeiramento.

#### **3.1. Tipos de sistemas de controlo de poeiras**

Actualmente existem três tipos básicos de sistemas de controlo de poeira utilizados na indústria cerâmica, são eles:

A recolha de pó, em que os sistemas de despoeiramento utilizam a ventilação para capturar as emissões de pó e conduzi-lo até ao colector de poeiras;

A supressão de pó húmido, que utiliza spray de água para humidificar o material que dá origem ao pó, para que este reduza as emissões do mesmo;

A captura de poeira no ar, pode utilizar uma técnica de pulverização de água, mas as partículas de poeira em suspensão são atingidas por água atomizada, desta colisão formam-se aglomerados que se tornam demasiado pesados para permanecer em suspensão (Mody e Jakhete, 1987).

#### **3.2. Selecção de um sistema de controlo de poeiras**

A selecção de um sistema de controlo de poeiras é normalmente feita com base na qualidade do ar desejado e regulamentação existente. Os sistemas de despoeiramento podem fornecer um controlo fiável e eficiente, contudo, os custos de implementação e operacionais são elevados. A supressão de pó húmido e os sistemas de captura de poeira no ar, são mais económicos na sua instalação e operação, mas um pouco menos eficientes, assim requerem alguma atenção na sua concepção, de forma a tornarem-se mais eficazes.

Os principais pontos a ter em conta são as instalações, o processo, as condições de funcionamento, as características de funcionamento dos equipamentos, os problemas associados à poeira e a toxicidade da mesma.

Para o projecto de um sistema de despoeiramento deve ter-se em conta o diagrama de caudal do processo, com indicações acerca do tipo de material que está a ser

processado, das taxas de caudal do processo e do tipo de equipamento implementado, os pontos principais das emissões de poeiras e as condições que ocorrem nesses pontos durante as operações normais, o desempenho desejado para o sistema, os desenhos com a indicação da disposição dos equipamentos, o tempo de retenção do material em depósitos ou armazém e a disponibilidade de equipamentos eléctricos e outros (Mody e Jakhete, 1987).

### **3.3. Teste de sistemas de controlo de poeiras**

A disposição de um ambiente de trabalho seguro e saudável implica três componentes principais:

- Sensibilização para potenciais riscos (reconhecimento);
- Avaliação/conhecimento desses riscos (avaliação);
- Diminuição dos mesmos (controlo);

Embora sendo dada uma grande atenção à sensibilização e conhecimento, incluindo investigação, estudos epidemiológicos, estabelecimento de normas e avaliação ambiental, o ponto mais importante – redução ou eliminação do problema – tem sido um pouco ignorado.

Assim, para a eliminação do problema da contaminação do ar, é necessário detectar a sua origem. Muitas vezes esta encontra-se no sistema de despoeiramento, por isso é necessário inspeccioná-lo, ou seja, submetê-lo a testes. Estes permitem avaliar a sua eficácia no controlo de poeiras.

#### **3.3.1. Como testar um sistema de controlo de poeiras**

Testar um sistema de despoeiramento, envolve principalmente a medição de caudais de ar. Estas medições podem fornecer os dados necessários para:

- Avaliar se o sistema está a funcionar de acordo com o projecto;
- Identificar as necessidades de manutenção;
- Determinar as capacidades do sistema para a adição de exaustores;
- Projectar e operar efectivamente futuras instalações.

É conveniente medir-se a média da velocidade do escoamento do ar, num ponto onde seja conhecida a área da secção transversal, para que se possa calcular o caudal através do produto da área pela média da velocidade.

Medições periódicas ao caudal de ar fornecem um histórico de manutenção do sistema, onde se destacam correcções que sejam necessárias fazer. Estas medições devem ser realizadas por uma pessoa externa ou por um funcionário interno, com conhecimentos neste sector. Algumas normas internacionais indicam-nos frequências mínimas, com que se devem realizar os testes nos sistemas de ventilação. Segundo o COSHH (Health and Safety Executive, 2008), esta frequência é de 6 meses, contudo quando se prevê que irá haver uma degradação no funcionamento do sistema, a frequência de teste deve ser aumentada.

É necessário haver colaboração entre o examinador, o representante da empresa e o operário, de forma a ambos correrem o mínimo de riscos possíveis e retirarem o máximo aproveitamento do teste. Desta forma o examinador deve ter acesso a toda a documentação do sistema, tal como o manual, relatórios de manutenção e de medições anteriores.

Os testes são normalmente realizados segundo três fases: inspecção visual e estrutural, medição do desempenho técnico e análise dos resultados COSHH (Health and Safety Executive, 2008 e Mody e Jakhete, 1987).

Na inspecção visual e estrutural procede-se a uma inspecção visual completa, verificando se o sistema está a funcionar de forma eficiente e em bom estado de conservação e de limpeza. Nesta fase, devem ainda realizar-se as acções que se encontram no anexo H (Inspeção visual e estrutural).

A medição do desempenho técnico é obtida através da realização do teste ao sistema de ventilação. Para se realizar um teste ao sistema devem seguir-se determinados passos, estes encontram-se especificados no anexo H (Medição do desempenho técnico). Este anexo contém ainda algumas especificações de determinados componentes.

A análise dos resultados consiste, de uma forma geral, em verificar o desempenho do sistema. No anexo H (Análise de resultados) encontram-se indicações mais específicas desta análise. O desempenho do sistema de despoeiramento pode ser reduzido por problemas comuns como os que se referem no quadro 8 do mesmo anexo, juntamente com as soluções correspondentes.

Para identificar o resultado dos testes, devem marcar-se os equipamentos. Os procedimentos a características de marcação encontram-se referidos no anexo H (Marcação dos equipamentos).

Existem particularidades que devem ser tidas em conta, quando se realizam medições. Estas particularidades estão referenciadas no anexo H (Particularidades das medições), e permitem não cometer erros durante as medições e obter valores mais precisos.

É muito importante registar toda a informação recolhida durante um teste a um sistema de despoeiramento, para que possa haver um histórico do sistema, que contenha as características e evolução do mesmo. Esta informação pode ser organizada segundo um relatório de teste. Os dados que este deve conter estão expostos no anexo H (Relatório de sistemas de controlo de poeiras).

A empresa deve saber imediatamente dos defeitos críticos e não deve esperar pelo relatório, estes deve mantê-los durante 5 anos. Uma cópia deve estar disponível no local onde se encontra o sistema de despoeiramento.

Com base nos dados necessários para um relatório, foi elaborado um formulário de examinação, que se encontra representado no anexo I. Este formulário, para além de permitir a recolha de informação, permitiu sequenciar os trabalhos. Após a sua aplicação, foram realizados melhoramentos, na sequência da situação real encontrada nas empresas.

## **4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1. Empresas visitadas**

O início da componente prática do projecto em que esta tese se encontra inserida, não foi possível na data inicialmente prevista. Assim o número de empresas visitadas foi reduzido, e não permitiu a realização de uma análise estatística muito relevante aos resultados obtidos.

Das seis empresas visitadas foram realizadas medições em cinco. Uma delas produzia sanitários e as outras cinco produziam pavimento e revestimento, uma das quais decorativo.

Ao nível geográfico, todas se encontravam na zona centro, nomeadamente no distrito de Aveiro. Como dito inicialmente esta é uma das zonas onde o sector da cerâmica se encontra mais concentrado em Portugal.

O principal objectivo da visita às empresas foi realizar o levantamento dos equipamentos e técnicas utilizadas actualmente neste sector, assim como a medição de parâmetros que permitam avaliar o sistema de ventilação por aspiração localizada.

Outras empresas serão visitadas no decorrer do projecto.

### **4.2. Procedimento de medição**

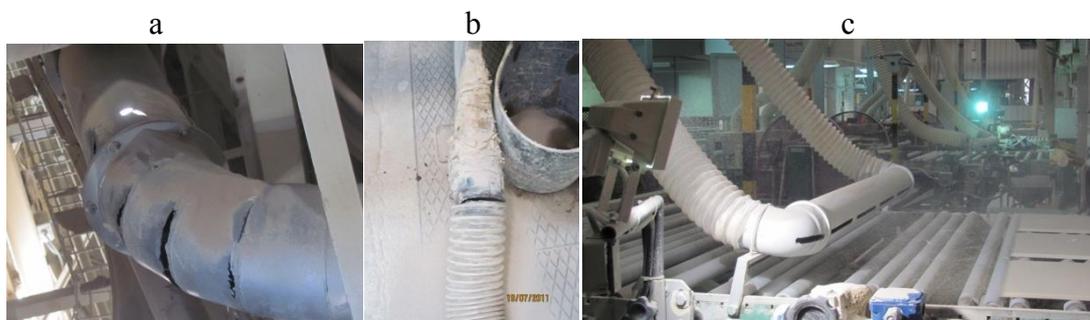
O primeiro passo a dar, foi efectuar o reconhecimento do processo produtivo. Este permitiu uma visão geral acerca das instalações, dos pontos onde é necessário realizar o despoejamento e dos vários sistemas de ventilação aplicados.

O processo de produção de pavimento, revestimento e sanitários é inicialmente idêntico. Numa primeira fase, que nem todas as empresas realizam, é efectuada a produção da “pasta”, ou seja, a conjugação de diversas matérias-primas. Nesta fase existem muitos pontos de emissão de contaminantes, uma vez que, as matérias-primas são introduzidas no sistema pelas tremonhas, transportadas por passadeiras e levadas até diversos pontos das instalações. Depois de alguns processos, sem produção de contaminantes a controlar pelo

sistema de despoeiramento, a “pasta”, no caso da produção de pavimento e revestimento, volta a ser transportada por passadeiras até às prensas, seguindo para as linhas, onde são realizados acabamentos. Estas passadeiras, as prensas e pontos da linha, como o polimento lateral e a limpeza superficial, são também fontes de emissão de contaminante. Na produção de sanitários, o sistema de ventilação só volta a actuar na inspecção das peças e na vidragem das mesmas. De uma forma geral estes são os pontos onde o sistema de ventilação deve actuar.

O segundo passo foi recolher a informação técnica solicitada no formulário de examinação. Neste seguimento solicitou-se o projecto ou um esquema do sistema de ventilação implementado, para que nele se pudessem identificar os pontos onde realizar as medições. Quando não existia, tinha de realizar-se um esboço do sistema, ou apenas um registo de todos os pontos do mesmo.

Procedeu-se então a uma inspecção visual a todas as partes do sistema, para averiguar de uma forma geral a sua eficácia. Em alguns casos verificou-se a existência de poeiras acumuladas ou em suspensão, desgaste, deterioração ou fracturas nos diversos componentes, instalações incorrectas, dispositivos mal seleccionados ou utilizados de forma incorrecta (figura 22).



**Figura 22 - Equipamentos avaliados negativamente**

Esta passagem por todos os elementos foi essencial, uma vez que permitiu verificar se os pontos de medição pretendidos estavam acessíveis, se era possível realizar a medição e se existiu alguma alteração no sistema, no caso da existência do projecto ou esquema.

Seguiu-se a selecção dos pontos de medição, consoante a disponibilidade dos locais (Figura 23), dos instrumentos de medição e dos vários pontos de captação do sistema de ventilação. Como o processo produtivo estava a decorrer optou-se por realizar

as medições apenas na conduta ou manga que chegava aos dispositivos de captação (figura 23-b). A partir das medições nestes pontos, pode determinar-se o caudal na conduta, uma vez que foi registado o diâmetro da mesma, e a velocidade de captação, através da distância à fonte de emissão, que foi também registada.

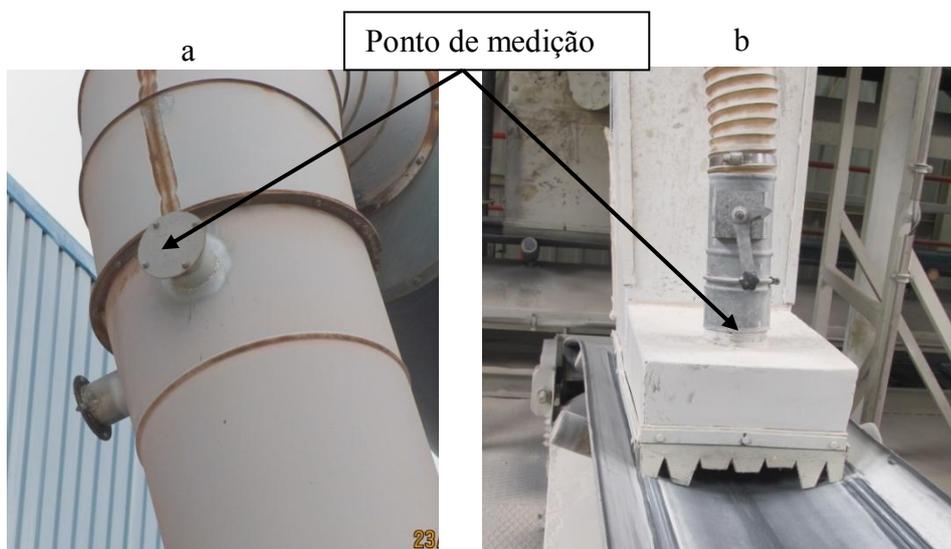


Figura 23 - Localização dos pontos de medição

Nenhuma empresa continha nas condutas, a montante do ventilador, locais onde se pudesse realizar a medição da velocidade do escoamento, ou seja, a sua obtenção só pode ser feita através da soma dos caudais das ramificações. Como também nenhuma empresa tinha o projecto do sistema de ventilação e apenas duas um esquema desactualizado e as condutas são inacessíveis em muitos locais, não foi possível determinar as dimensões das mesmas. Consequentemente, não foi possível realizar uma análise a todo o sistema de ventilação.

A medição da velocidade do escoamento efectuou-se com o recurso a um anemómetro de hélices (figura 24), sempre que possível, ou a um tubo de pitot. Nas medições realizadas na superfície das mangas ou condutas, como se trata de sucção, o tubo de pitot, devido à sua fisionomia, não é o melhor equipamento a utilizar. Já no interior de condutas, é preferível utilizá-lo porque tem uma dimensão reduzida e permite também registar a pressão



Figura 24 – Anemómetro de hélices

estática. Contudo como não foi sempre utilizado (não se encontrava disponível), não há registos da pressão estática em todos os pontos. Sempre que a secção a medir tinha uma área superior à do equipamento a utilizar, aplicou-se o que se refere no anexo H (Particularidades das medições), pois o escoamento não é uniforme em toda a secção.

Simultaneamente elementos do CTCV implementavam em trabalhadores, dispositivos que efectuam a recolha das poeiras a que os trabalhadores estão sujeitos ao longo do seu dia de trabalho. Estes dispositivos, após a sua análise, permitem obter os valores de exposição dos trabalhadores à poeira e concretamente à sílica cristalina.

### **4.3. Dados recolhidos**

Nas empresas visitadas encontraram-se ventiladores Coral, Ventil e Tur-bonor. Na sua maioria tratava-se de ventiladores centrífugos, apenas a empresa que produzia sanitários possuía ventiladores axiais. Neste caso cada ventilador é utilizado para ventilar 1 ou 2 cabines de vidragem ou inspecção.

Os dados relativos à potência e velocidade de rotação registados, são os do motor, uma vez que o acesso a eles é mais simples, contudo como a relação de transmissão é de 1-1 a velocidade de rotação dos ventiladores é a mesma, assim como a potência. Os filtros eram de mangas e estas eram em FANAFEL.

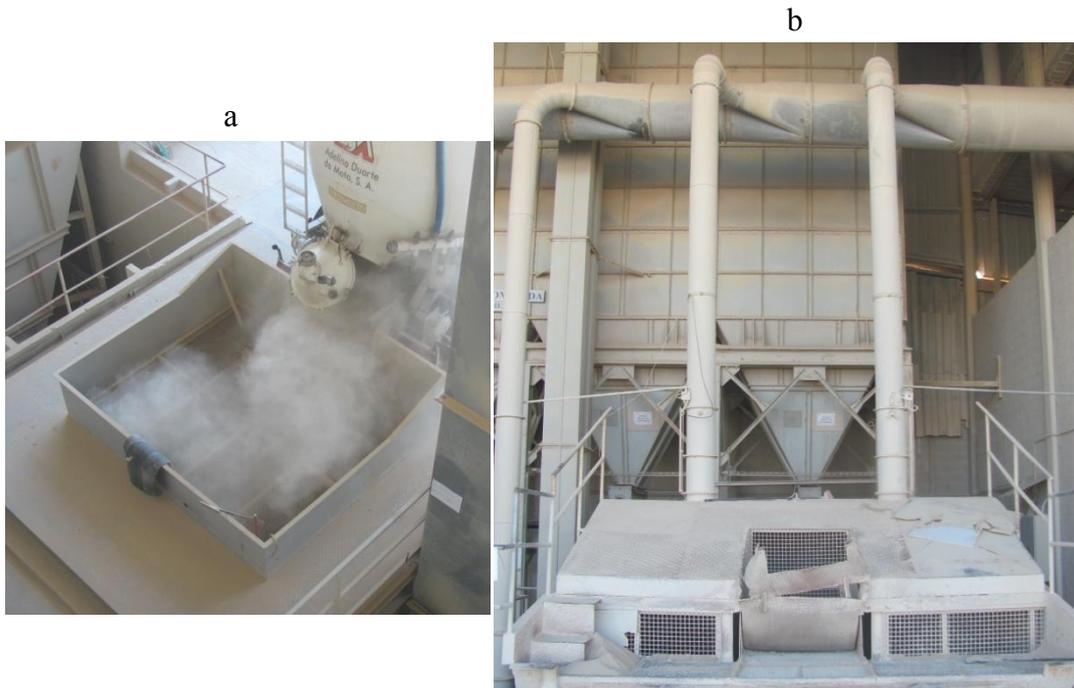
A informação recolhida encontra-se no quadro 11 do anexo L.

Os resultados disponíveis, até à presente data, relativamente à exposição dos trabalhadores a poeiras e à sílica cristalina, encontram-se no quadro 12 do anexo L.

#### **4.3.1. Na aspiração**

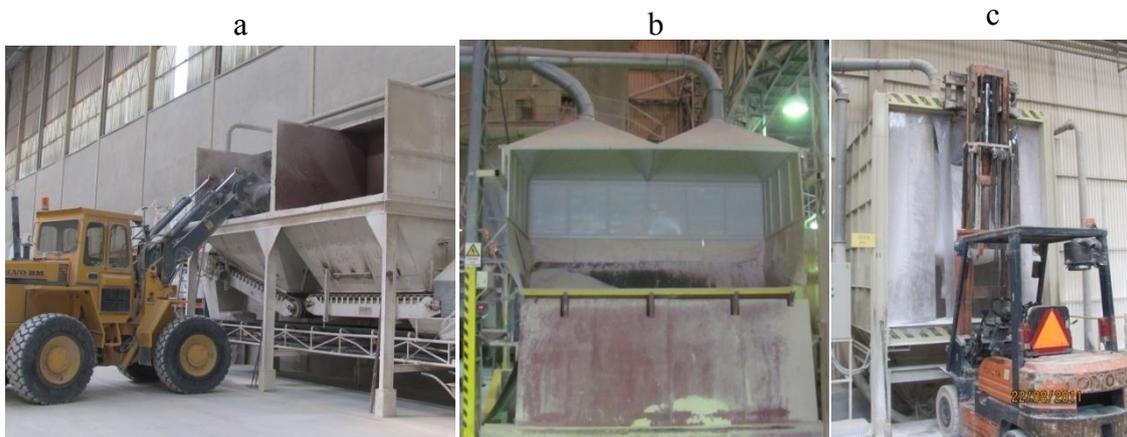
As ditas boas práticas encontravam-se em todas as empresas, mas também se encontravam más práticas. Nas figuras seguintes pode ver-se o que de, certo e errado se encontrou nas empresas actualmente em laboração em Portugal, relativamente à aspiração.

Começando pela recepção de pó, que pode ser feita para uma tremonha sem qualquer aspiração ou confinamento (figura 25-a) ou por uma tremonha que contenha apenas aberto o espaço necessário para a entrada do pó e ainda aspiração (figura 25-b).



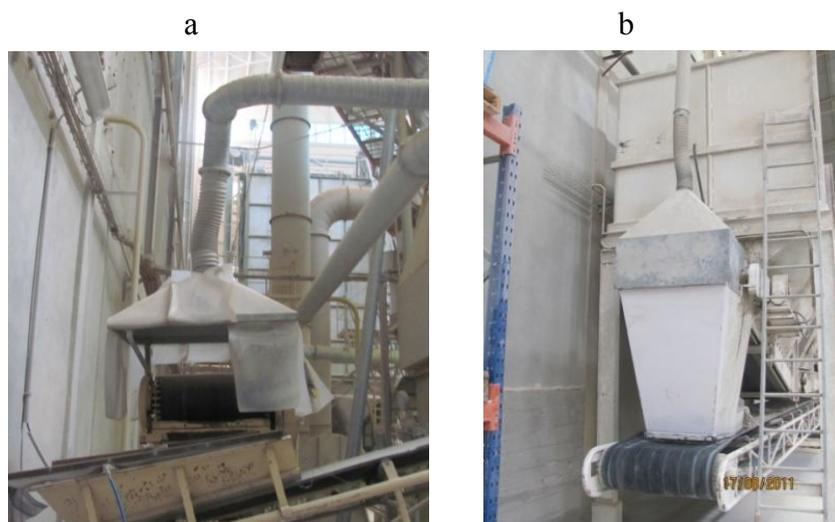
**Figura 25 - Tremonhas de recepção de pós sem e com sistema de despoejamento**

O mesmo acontece quando se está a encher uma tremonha com matéria-prima, esta pode não ter aspiração (figura 26-a), ter apenas aspiração (figura 26-b) ou para além de ter aspiração ter algo, como cintas, que ajude a aumentar o poder de sucção e reduzir a saída de contaminante (figura 26-c).



**Figura 26 - Tremonhas sem e com sistema de ventilação aplicado**

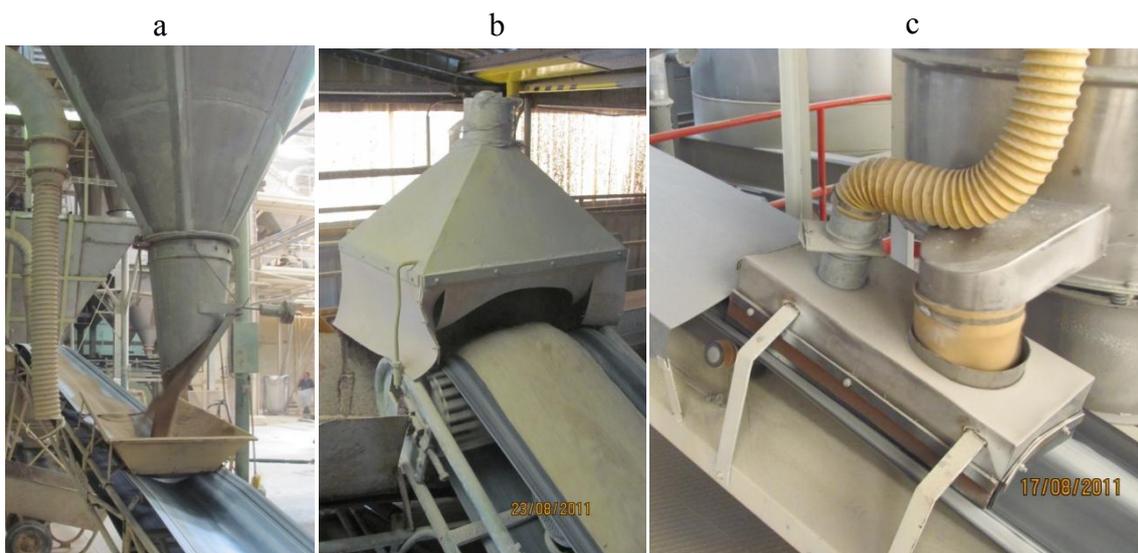
As passadeiras são dos componentes mais complicados, no que se refere à recolha de contaminantes, mas como mostra a figura 27-b, através do isolamento do contaminante, a aspiração torna-se mais eficaz e mais uma vez o isolamento não permite a libertação do contaminante.



**Figura 27 – Aspiração efectuada de forma ineficiente e eficiente nas passadeiras**

Em muitos casos, como o da figura 28-a, as condutas até se encontram no local correcto, falta apenas um dispositivo que ajude a aspiração, o contrário também ocorre, como mostra a figura 28-b, que contém o dispositivo de aspiração mas falta a conduta. A figura 28-c representa um bom dispositivo de captura que contém o dispositivo e a conduta de aspiração. Assim nas figuras 27-b e 28-c apresentam-se exemplos de boas práticas.

A implementação de pequenas cintas, leva a que o sistema se torne mais eficaz, uma vez que ao confinar o contaminante, não permite que este saia ao mesmo tempo que aumenta o poder de aspiração da conduta devido à redução da área de entrada de ar.



**Figura 28 – Aplicações incorrectas e correctas na aspiração de passadeiras**

A distância da fonte ao ponto de captação é dos factores que mais se deve ter em conta quando se instala um sistema de ventilação localizada, a figura 29 mostra, distâncias exageradas entre a fonte de emissão e o ponto de captação, o que leva à baixa eficácia deste sistema.



**Figura 29 - Elevada distância entre a fonte e o ponto de captação**

As prensas são outro dos equipamentos que, nos processos de produção, libertam mais contaminantes. Assim são diferenças, como as das figuras 30 a e b, que aumentam ou diminuem a exposição dos trabalhadores, naquele ponto de trabalho, aos contaminantes libertados. Neste caso concreto o objectivo da colocação da lona seria para não deixar contaminar o produto, mas o facto é que aumentou a eficácia do sistema neste ponto.



**Figura 30 – Prensa sem e com aplicativo de melhoramento**

Uma vez que a medição da velocidade foi efectuada na conduta ou manga junto ao dispositivo de captura, para obter a velocidade no ponto de emissão, foi necessário

calcular a velocidade na face do dispositivo de captação. Esse cálculo foi efectuado com base no que foi dito no subcapítulo 2.4.1.1.

Este é um exemplo do cálculo efectuado:

As dimensões da secção **b** do dispositivo da figura 35 são de 0,15x0,4m, ou seja, **b** tem uma secção de 0,06m<sup>2</sup>.

A velocidade média obtida no ponto **a**, foi de 9,92m/s, a área de secção do mesmo ponto é de 0,003m<sup>2</sup>, logo o caudal obtido é 0,028m<sup>3</sup>/s. Se aplicarmos a equação de Dalla Valle para várias distâncias obtemos o gráfico 1.

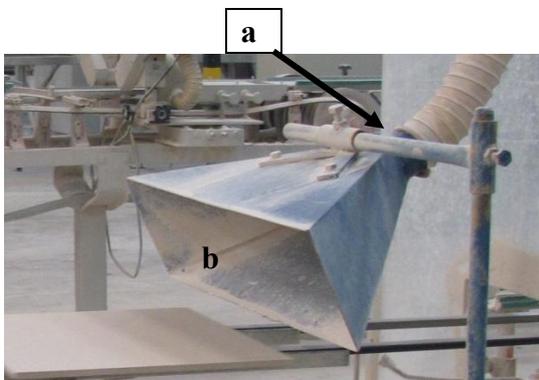


Figura 31 - Campânula de captura

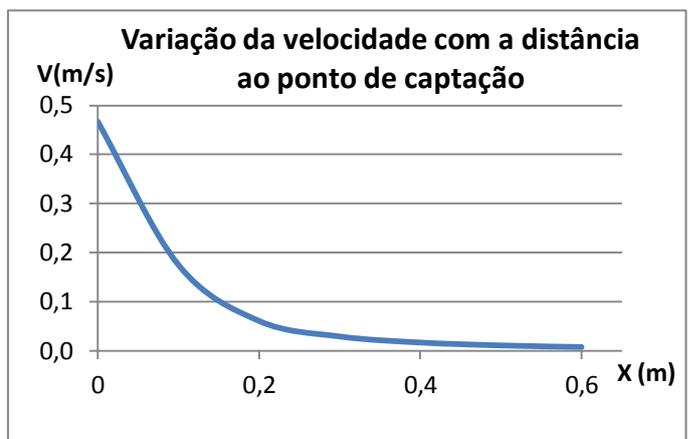


Gráfico 1 - Variação da velocidade com a distância ao ponto de captação

O gráfico 2 apresenta as velocidades médias nos pontos de medição, ou seja, à chegada aos dispositivos de captação, nos vários sistemas estudados.

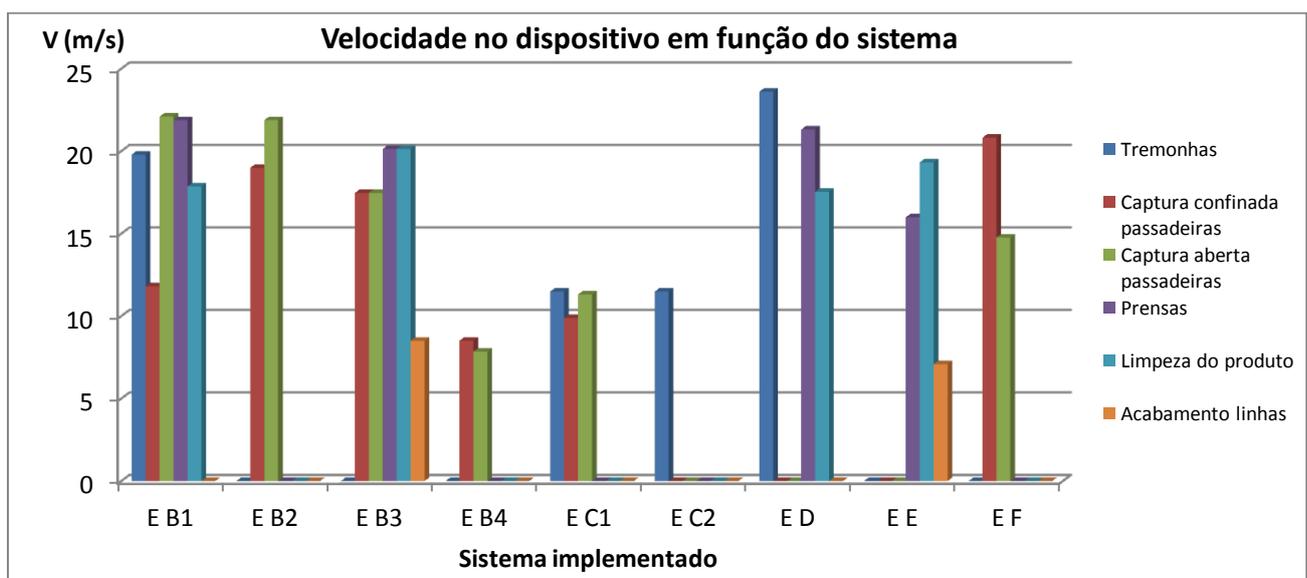
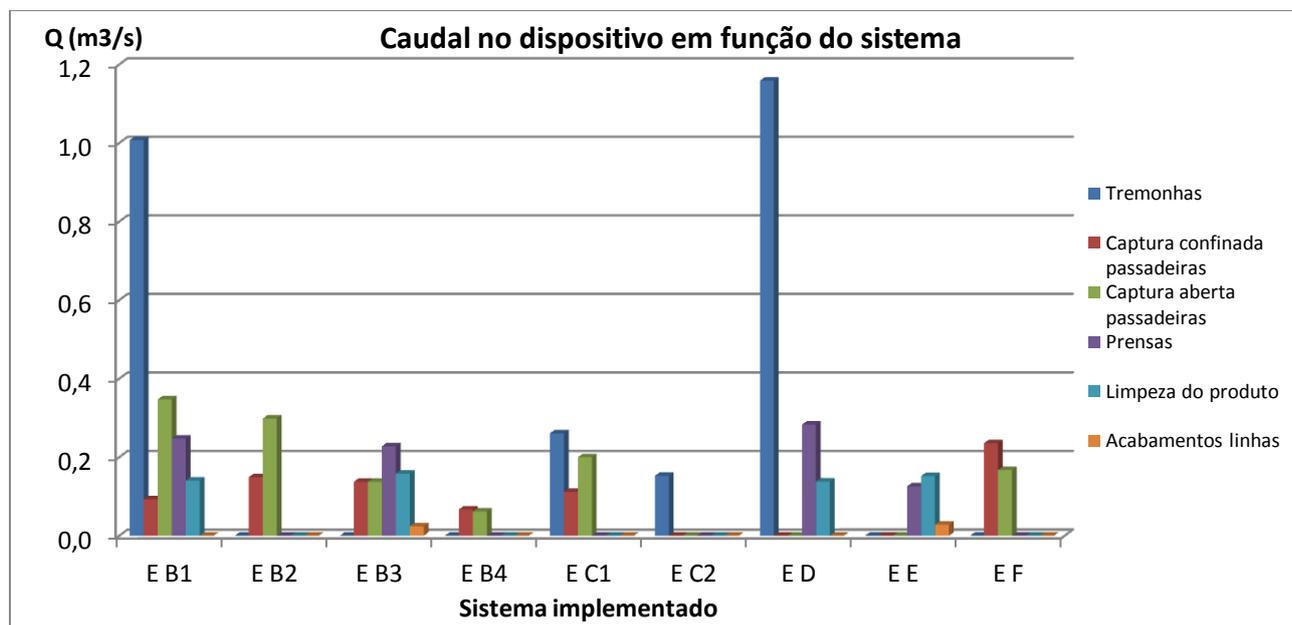


Gráfico 2 - Velocidade que chega ao dispositivo de captação em função do sistema implementado

Como a pressão é idêntica em todos os pontos onde foram efectuadas medições, a velocidade nesses pontos também deve ser idêntica, isto para um sistema em equilíbrio. Como pode ver-se no gráfico 2, a velocidade apresenta maiores variações, de dispositivo para dispositivo, nos sistemas B1, B3 e E. Desta forma conclui-se que estes sistemas não estão em equilíbrio.

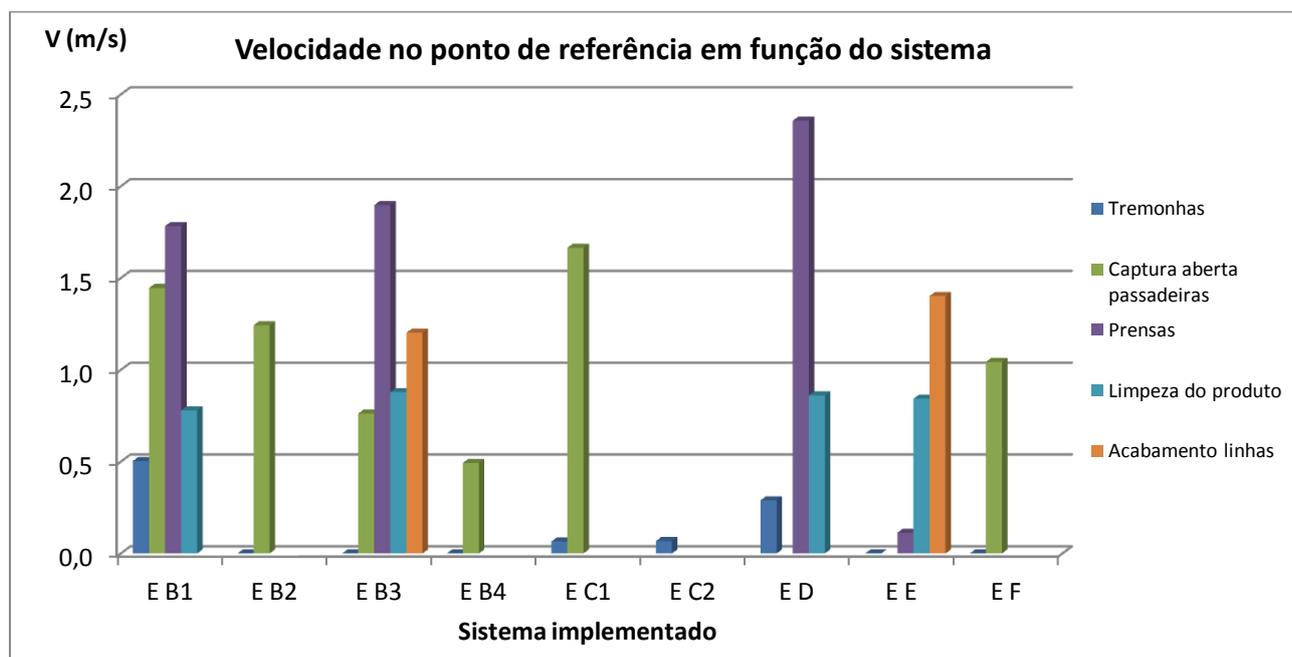
O gráfico 3 foi obtido pela multiplicação da velocidade, representada no gráfico 2, pela área da secção onde foi efectuada a medição, em cada dispositivo.



**Gráfico 3 - Caudal que chega ao dispositivo de captação em função do sistema implementado**

Da sua observação verifica-se que os caudais nas tremonhas são bastante superiores face aos restantes dispositivos. Este era um resultado esperado, uma vez que nas tremonhas produzem-se grandes quantidades de contaminante, ou seja, é necessário assegurar a sua remoção. Por sua vez os caudais mais baixos encontram-se nos dispositivos de acabamentos, uma vez que estes produzem menores emissões.

O gráfico 4 é obtido através das equações do anexo J que relacionam a velocidade com o caudal de aspiração, equações estas que se adequam a cada dispositivo. Este gráfico contém representadas as velocidades que cada dispositivo impõe ao escoamento, no ponto de referência. O ponto de referência foi considerado como o ponto para o qual foram encontrados valores aconselhados.



**Gráfico 4 - Velocidade no ponto de referência do dispositivo de captação em função do sistema implementado**

Nas tremonhas o valor mínimo para a velocidade, segundo o quadro 6 do anexo E, é de 1m/s, para a captura aberta nas passadeiras a velocidade de captura mínima deve ser entre 0,75 e 1m/s. Relativamente aos outros 3 dispositivos representados no gráfico 4, não foram encontrados valores aconselhados, mas admitindo que as partículas não são libertadas com velocidade inicial e que não existem perturbações, pode concluir-se que a velocidade necessária terá apenas de ser a velocidade limite de sedimentação, que para partículas com 100 $\mu$ m de diâmetro, segundo o quadro 1, é apenas de 0,3 m/s.

A partir do gráfico 4 verifica-se que nenhum dos sistemas com tremonhas cumpre o valor aconselhado, um sistema com dispositivo de captação aberta em passadeiras também não cumpre o valor aconselhado e os restantes dispositivos têm velocidades de captação superiores a 0,5 o que à partida será aceitável.

Como a velocidade obtida nos dispositivos de captação confinada em passadeiras é muito elevada, face às restantes, esta encontra-se representada no gráfico 5. Esta discrepância deve-se ao facto destes dispositivos serem confinados, ou seja, a área da superfície de entrada de ar é bastante reduzida e permite maiores velocidades de captura.

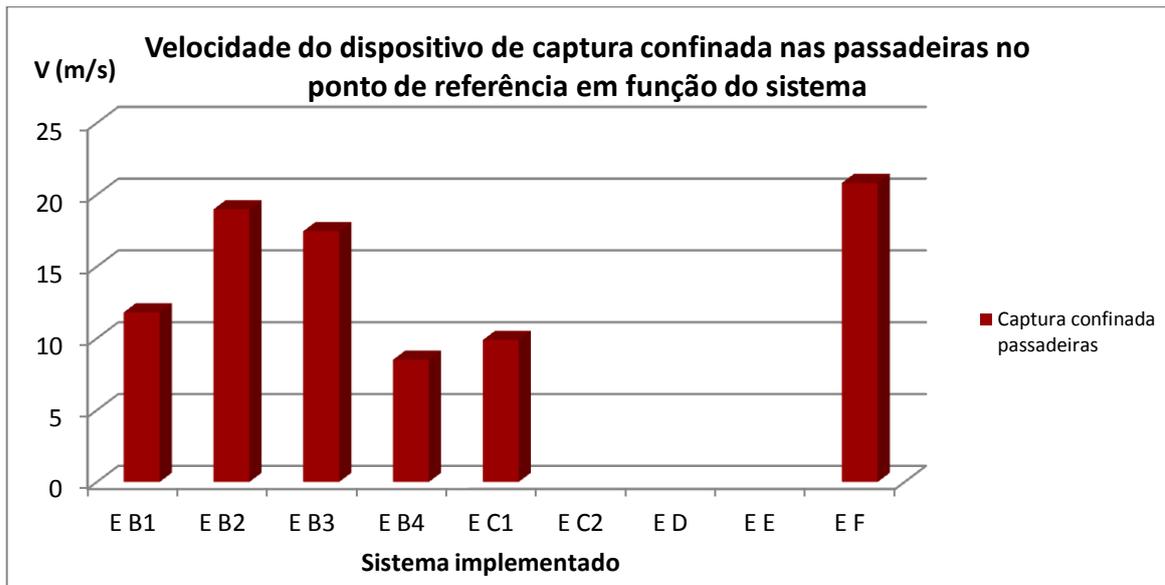


Gráfico 5 - Velocidade no ponto de referência dos dispositivos de captura confinada nas passareiras em função do sistema implementado

O gráfico 6 representa o caudal nas tremonhas por  $m^2$  da superfície frontal e comprova-se mais uma vez que este não é suficiente em nenhum dos dispositivos, uma vez que, como já referido, o caudal aconselhado deveria ser de 0,8 a  $1m^3/s$ .

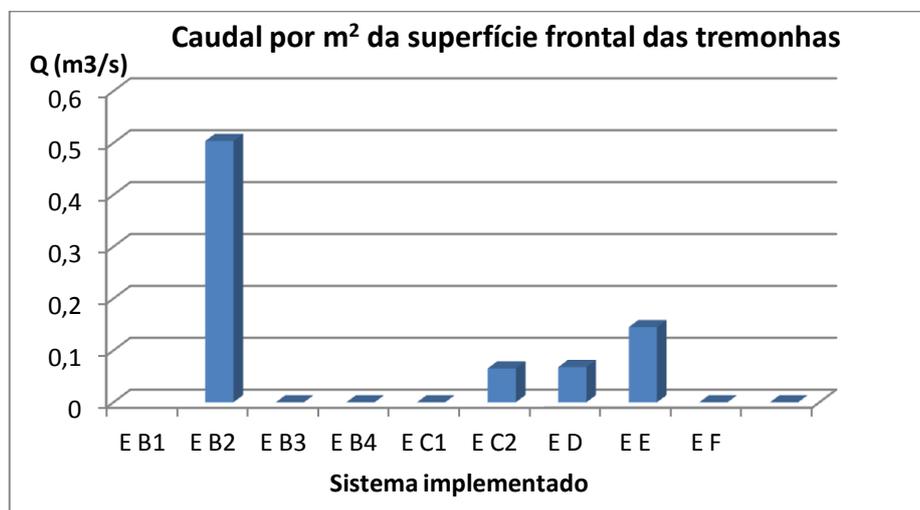


Gráfico 6 - Caudal nas tremonhas por  $m^2$  de face aberta

Como forma de melhorar o desempenho deste dispositivo, uma das soluções será aumentar o caudal, outra passará pela implementação de cintas de forma a reduzir a área da face.

O gráfico 7 representa o caudal por metro de largura de passadeira e verifica-se que 2 sistemas (B1 e B2), praticamente contemplam o valor aconselhado,  $0,5\text{m}^3/\text{s}$ .

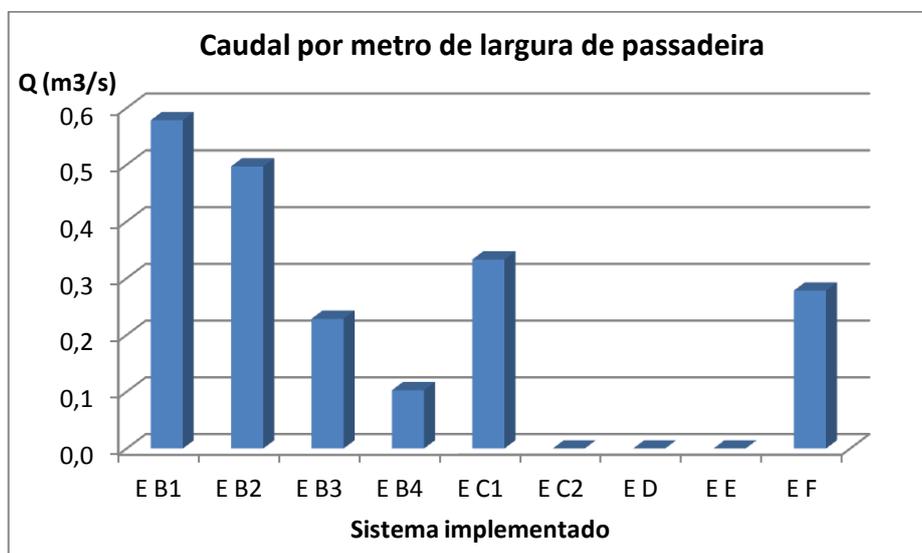


Gráfico 7 - Caudal nos dispositivos de captação das passadeiras por metro de largura

Os resultados obtidos, através da medição da concentração de poeiras a que os trabalhadores se encontram expostos (quadro 12 do anexo L), demonstram que a concentração de poeira respirável é inferior à aconselhada e que a concentração de sílica respirável é superior. Partindo deste resultado pode então concluir-se que o diâmetro das partículas é muito reduzido e que os sistemas de ventilação teriam de ser mais eficazes na captura das poeiras, para que os trabalhadores não se encontrassem expostos a concentrações de sílica cristalina acima do aconselhável.

#### 4.3.2. Nas condutas

As condutas são, por vezes, os pontos onde se pode gerir a energia, ou seja, nelas podem ser colocados diversos tipos de válvulas, automáticas ou manuais, que ajudem a regular o caudal e a mantê-lo onde é necessário. Algumas dessas válvulas encontram-se na figura 32.

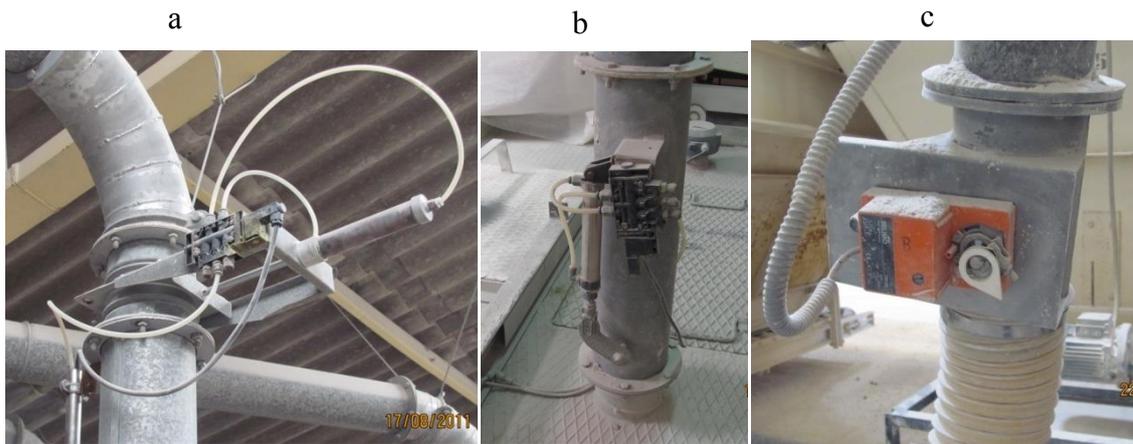


Figura 32 - Válvulas aplicadas em condutas

Existem inúmeros casos em que diversos equipamentos não trabalham em contínuo, logo não era necessário que o sistema de ventilação funcione continuamente nesses pontos. Nestes casos, algumas empresas, tinham válvulas automáticas implementadas, que abriam ou fechavam, consoante o equipamento estivesse ligado ou desligado ou válvulas manuais, em que o trabalhador abria a válvula, realiza uma operação e voltava a fechá-la. Contudo existem outras empresas que não utilizam estes dispositivos, o que leva a terem gastos excessivos de energia, para terem os caudais necessários em todos os pontos do sistema, ou simplesmente um mau funcionamento do sistema de ventilação. Para além disto, existem ainda casos em que as condutas são simplesmente deixadas abertas, sem qualquer ponto de captação (figura 33).

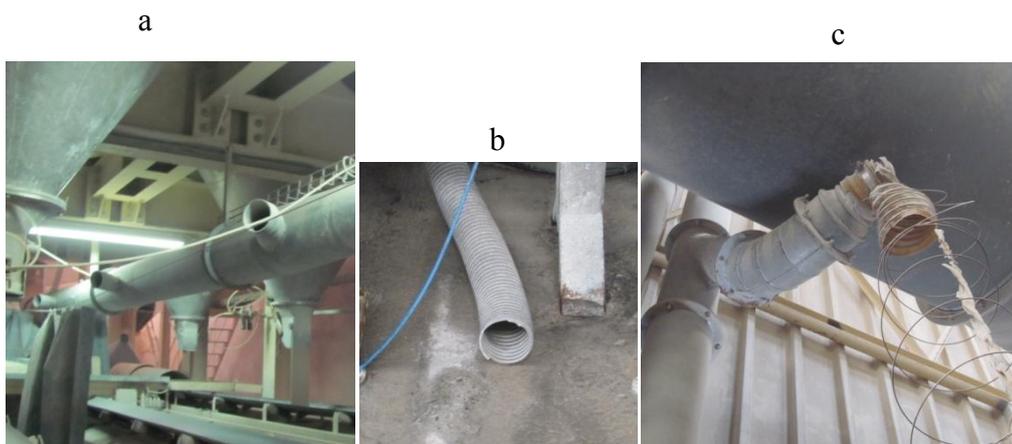


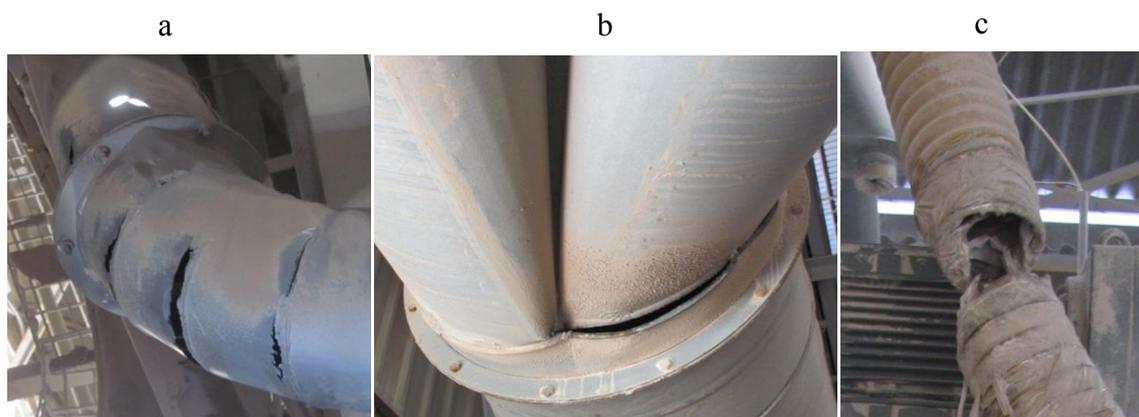
Figura 33 - Condutas abertas

Uma má prática, que se verifica bastante nas empresas, é a deficiente ligação das mangas aos dispositivos de captação ou simplesmente a não ligação (Figura 34).



**Figura 34 - Conduitas mal acopladas ou desacopladas**

As condutas transportam ar contaminado por partículas que podem ser bastante erosivas. No seu percurso, é nos pontos de mudança de direcção do escoamento, que se faz sentir o maior desgaste por acção dessas partículas. O desgaste pode levar à ruptura da conduta, ou seja, ao aparecimento de um ponto de perda de carga (figura 35-a). Outros pontos de perda de carga que aparecem nas condutas e mais frequentemente nas mangas são pontos de fractura (figura 35-b e c).



**Figura 35 - Pontos de perda de carga nas condutas**

## 5. CONCLUSÕES

Na actualidade a saúde e segurança no trabalho são um factor decisivo na competitividade entre empresas, no rendimento e qualidade de vida de um trabalhador. A poluição do ar nos locais de trabalho não prejudica apenas o trabalhador, mas sim toda a empresa.

O sector da cerâmica provoca no seu processo produtivo, a emissão de poeiras que são prejudiciais à saúde. A sílica cristalina é um dos minerais que é emitido e é fonte de várias doenças ao nível respiratório, nomeadamente a silicose, que pode levar à morte. Devido às suas dimensões este mineral pode também atingir os órgãos vitais do copo humano.

Como forma de eliminar o ar contaminado, a indústria cerâmica implementa sistemas de ventilação localizada, e geral como complemento à anterior.

Em Portugal, os dados relativos à ventilação industrial neste sector são muito escassos e os que existem antigos. Internacionalmente existem instituições dedicadas a este ramo, mas não permitem o acesso a dados muito concretos, tais como as velocidades ou caudais de captura dos contaminantes nos diversos tipos de dispositivos que se utilizam actualmente.

Ao nível legislativo, a ultima actualização de Portugal foi em 2007, quando introduziu a NP 1796/2007. Esta apenas contempla os valores limites de exposição e não refere nada concreto em relação à ventilação.

A concepção de um sistema de ventilação, nomeadamente no caso de ventilação localizada, é relativamente complexa, sempre que se procura a máxima eficiência. O seu projecto, para além de ser único, deve cumprir um conjunto de objectivos e tomar em consideração factores primordiais como a distância de captação e a velocidade de emissão do contaminante, que conduzam à melhor qualidade do ar. Neste sentido as condições de projecto devem ser cumpridas, pois a má utilização do sistema ou a sua alteração sem a realização de um estudo, põem em causa o seu desempenho. Mesmo com um sobredimensionamento inicial, o sistema pode não ser suficiente para superar as novas exigências.

Das empresas visitadas 3 já realizaram alterações ao sistema de ventilação localizada, mas apenas uma realizou um estudo na data da alteração.

Nas empresas verifica-se a existência de sistemas capazes, que estão a operar bem, mas também se verificam bons sistemas a operar de forma errada, assim como sistemas incapazes, face às necessidades da empresa. Existe má gestão dos sistemas, nomeadamente encontram-se muitas condutas abertas ou mal colocadas.

Há uma necessidade de educar os trabalhadores para uma utilização eficaz dos sistemas de ventilação, assim como a de sensibilizá-los para os efeitos nefastos que a inalação de poeiras lhes pode provocar.

A realização de manutenção aos sistemas de ventilação apenas se verifica ao nível do ventilador e do filtro, na troca de correias e mangas.

Há ainda uma necessidade de melhorar os processos produtivos, dos equipamentos e dos métodos de trabalho, enquanto isso não suceder as soluções tecnológicas de ventilação apresentadas neste trabalho não podem garantir, por si só, o cumprimento dos valores limites de exposição a contaminantes. Os processos devem ser melhorados e uniformizados através de acções de sensibilização e formação dos intervenientes a todos os níveis.

Futuramente será de bastante importante realizar uma análise rigorosa aos sistemas de ventilação, contudo com os dados disponíveis actualmente, tal não é possível.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burgess, W. A.; Ellenbecker, M. J. e Treitman, R. D., (1989), “Ventilation for Control of the Work Environmental”. John Wiley & Sons, Canada.
- Mody, V.; e Jakhete, R., 1987, “Dust Control Handbook for Mineral Processing”. U.S. Bureau of Mines.
- NP 1796/2007. “Norma Portuguesa de Segurança e Saúde do Trabalho - Valores limite de exposição profissional a agentes químicos.
- Pina, João P. F. e Silva, Phillip M. S. (2003), “Melhoria da Qualidade do Ar em Industrias Cerâmicas”, Universidade de Coimbra.
- Pires, P., Gaspar, A. R., Quintela, D. A. (2003), “Desempoeiramento de locais de trabalho na indústria cerâmica”. Revista Kéramica, Ano XXIX, nº262, pp. 30-39, Novembro 2003, Coimbra.
- Quintela, D. A.; Oliveira, A. V. M.; Pires, P. e Gaspar, A. R (2003), “Ambientes de Trabalho e Qualidade de Vida na Indústria Cerâmica”. Centro de Estudos de Condições e Ambientes de Trabalho (CECAT) e Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI).
- Health and Safty Executive (2008), “Controlling Airborne Contaminants as Work - A guide to local exhaust ventilation”.
- Silva, Francisco e outros, 2005, “Indústria Cerâmica – Noções Gerais”. Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro e Instituto para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho.
- Macedo, Ricardo, (1985), “Manual de Higiene do Trabalho na Indústria”. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Teles, J. C. G. e outros, 1982, “Seminário Sobre Transporte Pneumático”. Universidade de Coimbra, Coimbra.

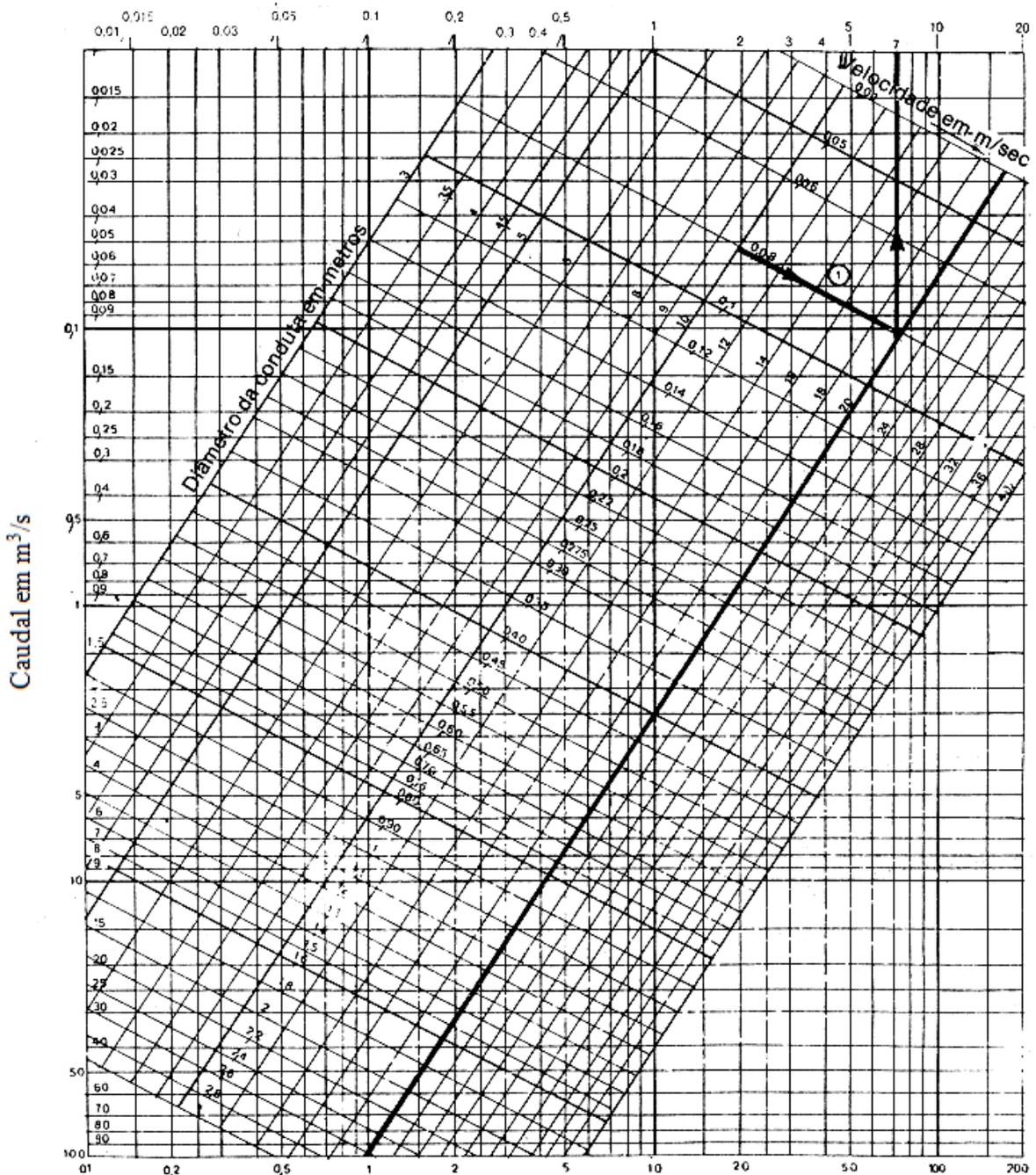
## ANEXO A - Processos que criam partículas finas na indústria da cerâmica

PROCESSODE CERÂMICA (*)	Onde podem ser criadas partículas finas? (Lista não exaustiva)
Abastecimento, descarregamento, transporte, armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Movimento de veículos</li> <li>· Descarregamento de veículos / descarregamento a granel</li> <li>· Descarregamento a granel de camiões-cisterna (descarga)</li> <li>· Esvaziamento</li> <li>· Transportadores e outros sistemas de transporte</li> </ul>
Preparação de matérias-primas para pasta e esmaltado	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Dosagem</li> <li>· Mistura de materiais</li> <li>· Moagem / trituração por via seca e húmida</li> <li>· Peneiragem</li> <li>· Separação (secagem por pulverizador)</li> <li>· Baixo risco nos processos por via húmida</li> <li>· Plastificação</li> </ul>
Moldagem, conformação	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Prensagem</li> <li>· Modelação em verde por maquinagem</li> <li>· Enchimento por via húmida</li> <li>· Ornamentação</li> <li>· Baixo risco nos processos por via húmida</li> <li>· Fabrico de moldes</li> <li>· Moldagem por vazamento de barbotina</li> <li>· Modelação de plástico</li> </ul>
Secagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Secagem periódica e contínua</li> </ul>
Esmaltagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Esmaltagem por pulverização, imersão e aspersão</li> <li>· Baixo risco nos processos por via húmida</li> <li>· Decoração</li> </ul>
Cozedura	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Cozedura ("biscuit", final, decoração, ...)</li> </ul>
Tratamento subsequente	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Moagem</li> <li>· Polimento</li> <li>· Corte / serração</li> <li>· Perfuração</li> <li>· Baixo risco de criação de pó em suspensão</li> <li>· Triagem</li> <li>· Embalagem</li> </ul>
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Corte de materiais refractários (para fornos)</li> <li>· Remoção de poeiras ou lama de uma unidade de extracção</li> </ul>
Limpeza	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Limpeza a seco e por via húmida</li> <li>· Baixo risco de criação de poeiras em suspensão:</li> </ul>

(\*) nem todos os passos do processo são necessários para todos os produtos em cerâmica  
(Guia de Melhores Práticas – Sílica Cristalina Respirável - NEPSI, 2006)

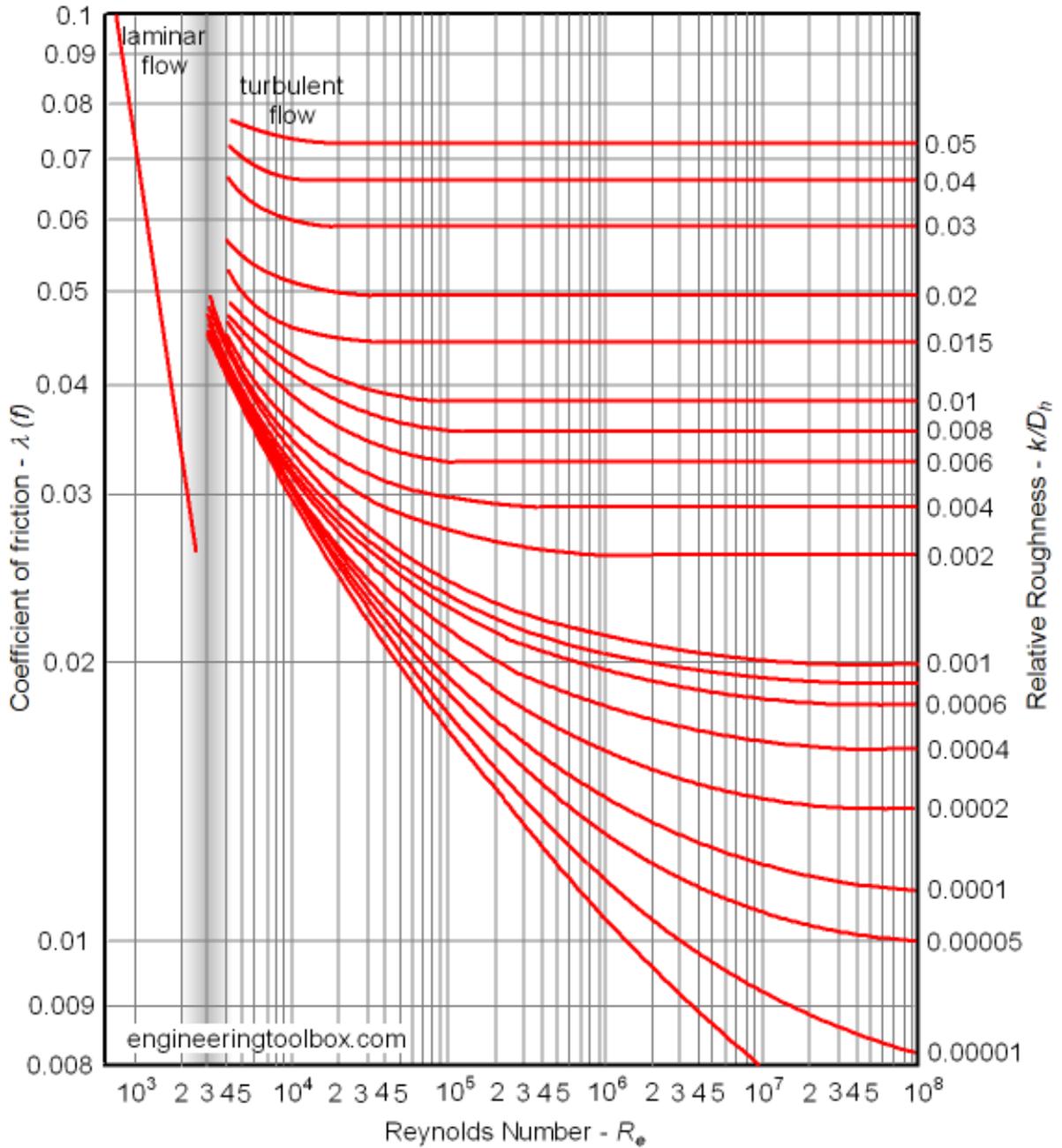
## ANEXOB – Perdas de carga por atrito por unidade de comprimento em condutas rectilíneas de secção constante

Perdas de carga em mm de coluna de água para 1 metro de conduta

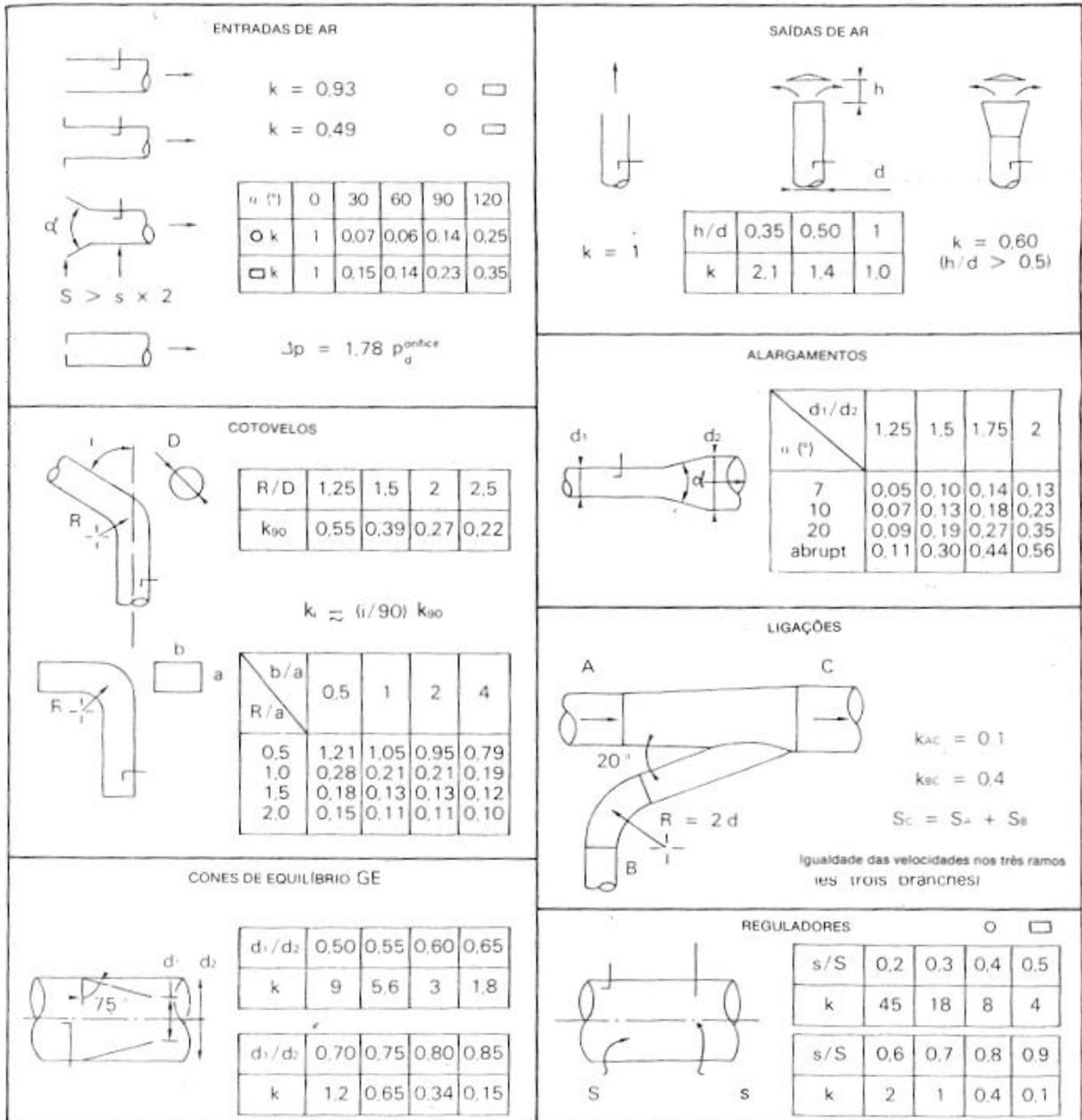


Perdas de carga em Pascal para 1 metro de conduta

### ANEXO C – Diagrama de Moody



## ANEXOD – Coeficientes de perda de carga

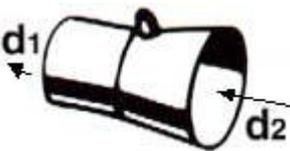


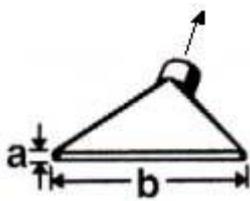
## ANEXO E – Quadros de velocidades mínimas de captura

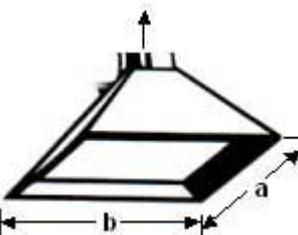
**Quadro 6 – Velocidades de captação mínimas a adoptar no caso de captação de contaminantes por meio de dispositivos de encerramento total ou cabines abertas**

<b>Operação</b>	<b>Dispositivo de captação</b>	<b>Superfície de referência</b>	<b>Velocidade mínima (m/s)</b>
Crivo cilíndrico	Envolvimento total	Aberturas	2,0
Decapagem por jacto de abrasivos	Envolvimento total	Aberturas	2,5
Forno de fusão de alumínio	Envolvimento total	Aberturas	0,75 – 1,0+ Produtos de combustão
Campânulas de laboratório	Cabine	Face aberta	0,5 – 0,75
Máquinas de embalagem	Envolvimento total Cabina	Aberturas Face aberta	0,5 – 2,0 0,25 – 0,75
Metalização -Toxicidade pequena -Toxicidade elevada	Cabine	Face aberta	0,65 1,0
Esmerilamento de pêndulo	Cabine	Face aberta	Grade abertura: 0,5 – 0,75 Pequena abertura: 1,0
Pintura por pulverização	Cabine	Face aberta	0,7 – 1,0
Enchimento de tremonhas	Cabine	Aberturas	1,0
Soldadura a arco	Cabine	Face aberta	0,5 – 0,75
Preparação de fibras de asbesto	Envolvimento total		0,5 – 0,8

**Quadro 7 – Velocidades de captação mínimas a adoptar, para várias geometrias de bocais, para diferentes caudais**

	Bocais Cónicos.		Para Tubo de aspiração desde 3" até 10" diâmetro.			
	Dimensões (mm)		Veloc. na face (m/seg) para dif. caudais (m3/h)			
	d2	d1	250	500	1000	1500
	125	75	5,7	11,3	22,6	-
	150	100	3,9	7,9	15,7	23,6
	180	125	2,7	5,5	10,9	16,4
	200	150	2,2	4,4	8,8	13,3
	250	200	1,4	2,8	5,7	8,5
	350	250	0,7	1,4	2,9	4,3

	Bocais estreitos		Para tubo de aspiração desde 3" até 6" diâmetro			
	Dimensões (mm)		Veloc. na face (m/seg) para dif. caudais (m3/h)			
	a	b	250	500	1000	1500
	25	200	13,9	27,8	-	-
	38	250	7,3	14,6	-	-
	38	300	6,1	12,2	24,4	-
	50	350	4,0	7,9	15,9	23,8
	50	400	3,5	6,9	13,9	20,8
	50	500	2,8	5,6	11,1	16,7

	Bocais tronco piramidais		Para tubo de aspiração desde 3" até 6" diâmetro			
	Dimensões (mm)		Veloc. na face (m/seg) para dif. caudais (m3/h)			
	a	b	250	500	1000	1500
	150	150	3,1	6,2	-	-
	150	200	2,3	4,6	9,3	-
	200	200	1,7	3,5	6,9	10,4
	200	250	1,4	2,8	5,6	8,3
	250	250	1,1	2,2	4,4	6,7
	300	300	0,8	1,5	3,1	4,6
	400	400	0,4	0,9	1,7	2,6

## ANEXO F – Quadro de velocidades de transporte aconselhadas em condutas

Velocidade de transporte em condutas de diferentes diâmetros para diferentes caudais. Resultados em m/s										
Φ (mm e polg)	76,2	101,6	127	152,4	165,1	177,8	203,2	228,6	254	279,4
Q (m3/h)	3	4	5	6	6,5	7	8	9	10	11
100	6,1	3,43	2,19	1,52	1,30	1,12	0,86	0,68	0,55	0,45
200	12,2	6,86	4,39	3,05	2,60	2,24	1,71	1,35	1,10	0,91
300	18,3	10,3	6,58	4,57	3,89	3,36	2,57	2,03	1,65	1,36
400	24,4	13,7	8,78	6,09	5,19	4,48	3,43	2,71	2,19	1,81
500	30,5	17,1	11,0	7,62	6,49	5,60	4,28	3,39	2,74	2,27
600	36,6	20,6	13,2	9,14	7,79	6,72	5,14	4,06	3,29	2,72
700	42,7	24,0	15,4	10,7	9,09	7,84	6,00	4,74	3,84	3,17
800	48,8	27,4	17,6	12,2	10,4	8,95	6,86	5,42	4,39	3,63
900	54,8	30,9	19,7	13,7	11,7	10,1	7,71	6,09	4,94	4,08
1.000	60,9	34,3	21,9	15,2	13,0	11,2	8,57	6,77	5,48	4,53
1.100		37,7	24,1	16,8	14,3	12,3	9,43	7,45	6,03	4,99
1.200		41,1	26,3	18,3	15,6	13,4	10,3	8,13	6,58	5,44
1.300		44,6	28,5	19,8	16,9	14,6	11,1	8,80	7,13	5,89
1.400		48,0	30,7	21,3	18,2	15,7	12,0	9,48	7,68	6,35
1.500		51,4	32,9	22,9	19,5	16,8	12,9	10,2	8,23	6,80
1.600		54,8	35,1	24,4	20,8	17,9	13,7	10,8	8,78	7,25
1.700		58,3	37,3	25,9	22,1	19,0	14,6	11,5	9,32	7,71
1.800			39,5	27,4	23,4	20,1	15,4	12,2	9,87	8,16
1.900			41,7	28,9	24,7	21,3	16,3	12,9	10,4	8,61
2.000			43,9	30,5	26,0	22,4	17,1	13,5	11,0	9,07
2.100			46,1	32,0	27,3	23,5	18,0	14,2	11,5	9,52
2.200			48,3	33,5	28,6	24,6	18,9	14,9	12,1	10,0
2.300			50,5	35,0	29,9	25,7	19,7	15,6	12,6	10,4
2.400			52,7	36,6	31,2	26,9	20,6	16,3	13,2	10,9

Legenda:

Região da convecção natural.
Velocidades em tubos c/ exaustores eólicos.
Transporte de ar limpo, odores ou com partículas muito finas.
Pó fino e fumo, leve.
Pó industrial médio
Pó grosso e fumos pesadas
Partículas pesadas, material húmido, transporte pneumático

## ANEXO G – Quadro com a indicação do dispositivo de limpeza a utilizar para as várias dimensões e para vários poluentes

Dimensão	1,0 mm	100 microns	10 microns	1 micron	0,1 micron	0,01 $\mu$ m
<b>Principais</b>	← Areia →	← Poeiras Atmosféricas →		← Fumaça De Cigarro →		
<b>Tipos de Poluentes</b>	← Chuva / Neblina / Nevoeiro →	← Pólen →	← Bactérias →	← Pó de Cimento →	← Fumos De Solda →	← Névoas De Oleo →
		← Fungos →		← Oxido De Metais →		
		← Pó de Carvão →		← Névoas de NOx e SOx →		
	← Areia de Fundição →		← Negro de Fumo →		← Vírus →	
<b>Identificação</b>	← Olho Nu →	← Microscópio →		← Microscópio Eletrónico →		
<b>Faixa Prática de Trabalho dos Principais Tipos de Coletores</b>	Coletor Gravitacional	Ciclones	Multiciclones	Lavadores de Gases	Filtros de Mangas	Filtros Eletrostáticos
						Filtros Absolutos

---

## **ANEXO H – Teste de sistemas de controlo de poeiras (complemento)**

### **Inspecção visual e estrutural**

Realizar-se as acções que se apliquem:

- Exame exterior minucioso de todas as partes do sistema, danos e desgaste;
- Identificar pontos da instalação incorrectos ou de má concepção.
- Exame interno às condutas, às vedações e escotilhas;
- Verificar se todos os sistemas de limpeza funcionam correctamente;
- Inspeccionar o tecido filtrante. Onde os filtros tiverem medidores de pressão incorporados, verificar o seu funcionamento;
- Inspeccionar o equipamento que proporciona o movimento do ar, por exemplo a correia do ventilador;
- Verificar a existência de indícios de perda de eficácia. Por exemplo a existência de depósitos significativos de poeiras em baixo ou em redor da zona de captação do sistema de ventilação localizada.

### **Medição do desempenho técnico**

Para se testar o sistema devem seguir-se os seguintes passos:

1. Esboço ou projecto do sistema para indicar o tamanho, comprimento, e posição relativa de todas as condutas, acessórios e componentes do sistema. Usar o esboço ou projecto como guia para seleccionar os pontos de medição do caudal.

As medições são feitas normalmente nos seguintes pontos:

- Na face das bocas de aspiração;
- A jusante da boca num ponto do ramo da conduta;
- Na conduta principal, sempre que exista um ponto de perda de carga ou variação de secção;
- Antes e depois do colector de poeiras (dispositivo de limpeza do ar);
- Antes e depois do ventilador;

2. Medir o seguinte:
  - A velocidade do ar e pressão estática em cada ramo e no principal;
  - A pressão estática e total à entrada e saída do ventilador;
  - O diferencial de pressões entre a entrada e saída do colector de poeiras;
  - A temperatura e humidade do ar;
3. Verificar/testar:
  - A substituição ou fornecimento de ar;
  - A capacidade do alarme detectar uma falha;
  - O desempenho do filtro de ar.

Medições específicas nos sistemas de despoeiramento, cada uma de acordo com a configuração de cada componente:

**Exaustor de envolvimento total** – Medir a pressão estática entre o interior do dispositivo e espaço de trabalho e a velocidade de captação na fonte. A pressão no interior do dispositivo deve ser inferior à do espaço de trabalho.

**Cabines parcialmente vedadas – hottes** – Medir a velocidade na face. Nenhuma medição deve variar mais de 20% da média.

**Bocais de aproximação – de ranhura** – Medir a velocidade em pontos equidistantes ao longo do comprimento e fazer a média das leituras. Nenhuma medição deve variar mais de 20% da média.

**Bocais de aproximação – campânulas** – Medir a velocidade na face. Para exaustores maiores, efectuar medições em vários pontos da face. Nenhuma medição deve variar mais de 20% da média.

**Condutas** – Verificar a leitura dos manómetros de pressão estática. Verificar se as leituras são correctas. Se o manómetro não estiver calibrado, registar a necessidade de calibrá-lo no plano de acção. Medir a velocidade do escoamento.

**Filtros** – Medir a pressão estática no filtro. Onde um filtro de mangas tem um sistema de limpeza de vibração, este deve ser ligado antes de se realizarem as medições.

**Ventiladores** – Medir a pressão estática na entrada do ventilador e a velocidade. Medir a velocidade na entrada ou saída do ventilador, onde houver uma secção

recta da conduta razoável – o ponto de medição deve ser a jusante de curvas e outras fontes de turbulência. Para um ventilador accionado por correia, medir a velocidade de rotação.

### **Análise dos resultados**

Devem comparar-se os valores obtidos com valores regulamentares e verificar se existem quaisquer mudanças relativas ao projecto original, como uma mudança de velocidade no ramo ou uma mudança no volume de ar extraído através da campânula.

Deve também avaliar-se a eficácia do controlo, que inclui, se aplicável:

- Observação cuidadosa do processo e das fontes;
- Avaliação do grau de eficácia do sistema de despoejamento relativamente ao controlo da exposição do operador à poeira;
- Com o processo a decorrer, verificar se há fugas de fumo, turbilhões, fuga de pó ou névoa e invasão da zona de respiração do trabalhador;
- Observar a forma de trabalhar dos operadores, se eles utilizam os métodos especificados e se estes métodos são sustentáveis.
- Diagnosticar causas das discrepâncias entre os valores. Com a devida autorização, o examinador pode fazer alterações simples que restaurem o desempenho exigido. Se o defeito for fundamental ou obscuro, o examinador deve parar o processo até que o sistema seja reparado e restabelecido o seu desempenho original.

**Quadro 8 – Soluções de avarias**

<b>Sintoma</b>	<b>Causa</b>	<b>Solução</b>
Volume de ar reduzido	Conduatas ligadas	Limpar as conduatas, verificar a velocidade do ar e as especificações do projecto
	Velocidade do ventilador, reduzida devido ao escorregamento da correia	Verificar a tensão da correia e ajusta-la de acordo com as recomendações do fabricante
	Desgaste ou acumulação no rotor ou na caixa do ventilador que obstruem o fluxo de ar	Substituir ou limpar os equipamentos desgastados; Consultar o fabricante para ver se o ventilador é o correcto para a aplicação
	Fuga na conduta devido às portas de limpeza soltas, juntas partidas, ou desgaste das mesmas (conduatas)	Substituir ou reparar fugas e secções desgastadas da conduta
	Pontos de exaustão (escape) adicionados ao sistema	Redesenhar (reprojectar) ou reequilibrar o sistema.
	Mudança da configuração das portas	Redefinir as portas de explosão (de segurança)

	de explosão (de segurança) nos ramais	de acordo com o projecto original e fixa-las nesse local
	Aumento da queda de pressão através do colector de poeira	Consultar as instruções de operação e manutenção do colector de poeira e verificar o seu funcionamento

### Marcação de equipamentos

No caso dos exaustores, que são os elementos principais do sistema, esta marcação deve ser efectuada pelo examinador, que coloca uma etiqueta no exaustor testado. Esta deve informar se o equipamento passou ou não no teste (Figuras 22 e 23), quem foi o examinador e as datas da realização do actual e do próximo teste.

Test date:.....	
Next test:.....	
Examiner:.....	

Figura 36 – Cumpriu/ satisfaz o teste

Test date:.....	FAIL
Examiner:.....	

Figura 37 – Não cumpriu/ satisfaz o teste

Os critérios que levam ao incumprimento no teste são os seguintes:

- Não haver caudal de ar suficiente;
- Falha de um exaustor de envolvimento na contenção de uma nuvem de contaminante;
- Falha de um exaustor de captura na contenção ou intercepção de contaminantes;
- Falha de um exaustor de captura, por exemplo quando a zona de captura não abrange a zona de trabalho.

### Particularidades das medições

O escoamento de ar na canalização é normalmente não uniforme, portanto é necessário obter medições em vários pontos da secção transversal da conduta.

Deverá utilizar-se o seguinte procedimento para obter o caudal:

- Dividir a conduta de secção transversal em áreas iguais (figura 25);
- Obter a pressão dinâmica, ou a velocidade no centro de cada uma dessas áreas;

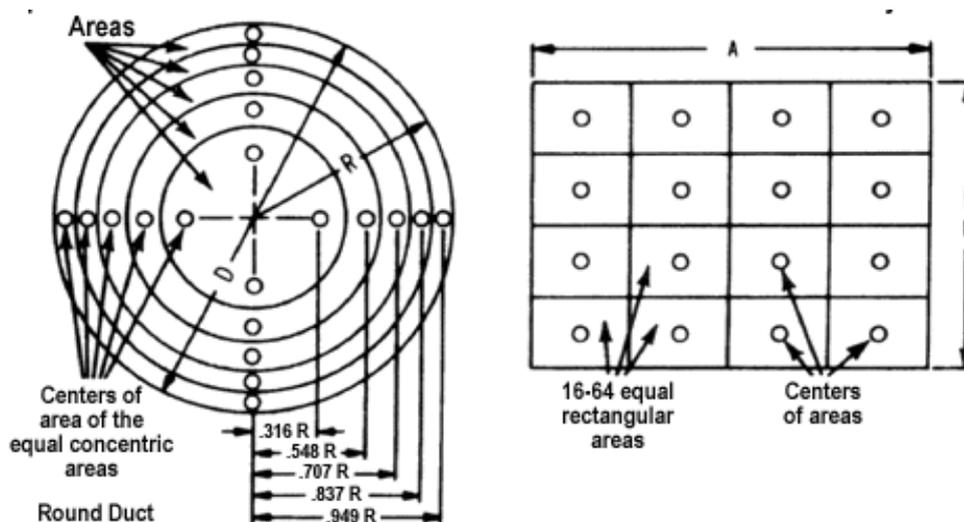
- Quando necessário converter a pressão dinâmica em velocidade do ar;
- Calcular a média das velocidades do ar para obter uma velocidade média (m/s);
- Medir o diâmetro interior da conduta e calcular a área transversal (m<sup>2</sup>);
- Multiplicar a área transversal da conduta pela velocidade média para obter o fluxo de ar em m<sup>3</sup>/s.

Na utilização de outro equipamento que meça a velocidade pontualmente o princípio é o mesmo.

**Figura 38 – Pontos de travessia/varrimento em condutas circulares e rectangulares na utilização de um tubo de pitot**

Relativamente à medição da velocidade é necessário ter em conta que (Health and Safety Executive, 2008):

- Quanto menor forem as áreas iguais, mais precisa é a medição;
- Um método apropriado para realizar uma boa medição é obter dois varrimentos, perpendiculares um ao outro, coincidindo a sua intersecção com o centro geométrico da conduta, em todo o diâmetro da mesma (figura 25);
- Sempre que possível, as medições devem ser feitas a oito ou mais diâmetros de



distância de quaisquer perturbações, como cotovelos, tampas, ou ramificações;

- Devem se feitas correcções na densidades do ar quando o ar está em condições fora do padrão. Por exemplo, é necessário corrigir a densidade do ar quando:

- O teor de humidade é maior que 0,02 kg/kg de ar seco;
- A temperatura do escoamento do ar, varia mais de 30°C a partir da temperatura padrão;
- A altitude é maior que 300m acima do nível médio das águas do mar.
- Poeira no ar pode afectar o desempenho dos instrumentos.

As medições de pressão estática são feitas, pela introdução de uma sonda dentro da conduta, ou conectando um tubo a uma pequena tomada de pressão da conduta (figura 26). As características das tomadas de pressão estáticas, nas condutas, são críticas nas medições da pressão estática, por conseguinte estas devem ser:

- Niveladas com a superfície interna da parede da conduta (perpendicular à superfície Interna);
- Perfuradas (sem provocar efeitos na superfície da conduta);
- Sem rebarbas ou projecções na superfície interior;

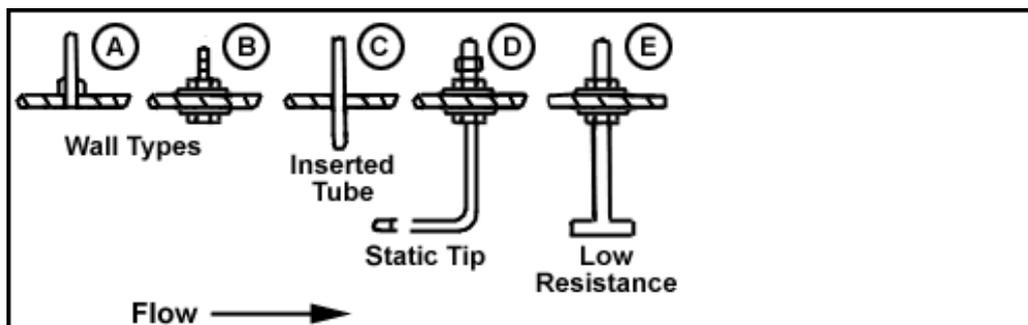
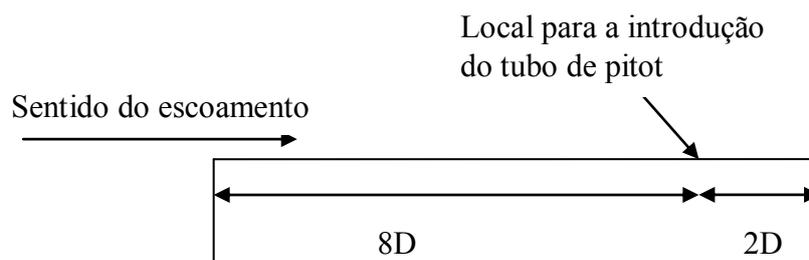


Figura 39 – Tipos de equipamentos de detecção de pressão estática (*adaptado de Ventilation for controlof the work environmental, 1989*)

As medições de pressão não devem ser efectuadas mesmo na curva ou em outros pontos onde, devido à turbulência ou mudança de velocidade do ar, exista uma súbita expansão ou contracção da conduta. Normalmente efectuam-se medições que distem dois e oito diâmetros a seguir e antes de uma perturbação, respectivamente.



### **Relatório do teste de sistemas de controlo de poeiras**

A informação que o relatório deve conter é a seguinte:

- O nome e endereço da empresa responsável pelo sistema de despoeiramento;
- As datas da última e actual vistoria e teste ao sistema de despoeiramento;
- A identificação e localização do sistema de despoeiramento, do processo e substâncias perigosas em causa;
- As condições do teste e se este foi realizado em produção normal ou especial;
- Um diagrama com a disposição do sistema de despoeiramento e com os pontos de teste;
- As condições do sistema de despoeiramento, incluindo os números de série dos exaustores e fotografias de partes relevantes;
- O seu desempenho operacional no controlo adequado da poeira e se ainda consegue ter o mesmo desempenho;
- Os métodos utilizados para verificar o desempenho e o que é necessário para atingir o melhor desempenho, por exemplo inspecção visual, medições de pressão e de fluxos de ar, amostras de ar, testes para verificar a eficácia do filtro;
- O resultado dos testes a amostras de ar, que sejam relevantes para o desempenho do sistema de despoeiramento;
- Comentários acerca da forma de utilização do sistema de despoeiramento, pelos operadores;
- Comentários acerca do desgaste do sistema ou de componentes do mesmo, que necessitem de reparação ou substituição, antes do próximo teste;
- O nome, o cargo e a empresa da pessoa que realiza a vistoria e o teste;
- A assinatura da pessoa que realiza a vistoria e o teste;

Os detalhes de qualquer pequeno ajuste ou reparação que seja necessária fazer para tornar o sistema de despoeiramento mais eficaz.

## ANEXO I – Formulário de exame

### Teste de sistemas de controlo de poeiras

#### Informação geral

Nome da empresa	
Morada	
Nome da pessoa responsável pelo sistema de ventilação localizada (LEV)	
Data do último teste ou exame	
Data actual teste ou exame	

Número de identificação ou de referência do LEV	
Localização do LEV	
Substâncias perigosas	
Processo causador da(s) fonte(s) de poluição	
Número de campânulas, bocas de exaustão	
Número máximo de campânulas, bocas de exaustão, etc, utilizados ao mesmo tempo.	
As condições na hora do teste são idênticas às normalmente existentes durante a produção?	

#### Depois do último teste ou examinação:

Realizou-se alguma alteração no sistema ou processo, desde o último exame ou teste?	
Registaram-se mudanças nos materiais processados?	

Se sim, quais?	
Registaram-se mudanças nos procedimentos de trabalho? Se sim, quais?	
Registaram-se mudanças no layout? Se sim, quais?	

#### Inspeção visual e estrutural

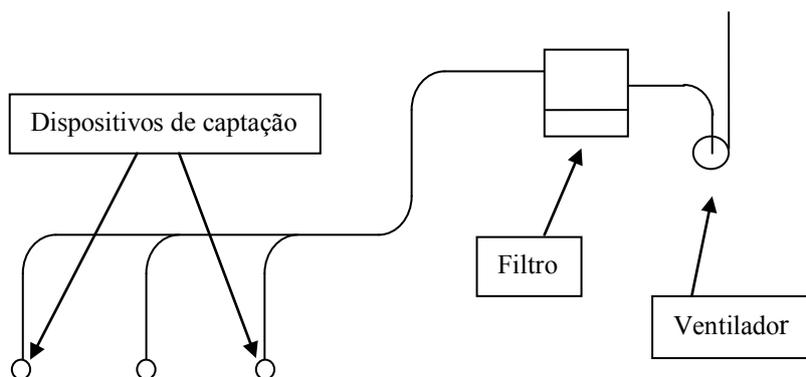
Fotografias do sistema e de partes importantes do mesmo. Cópia do projecto ou um diagrama com a disposição do sistema. Identificar no mesmo, os pontos-chave do sistema, os pontos de teste/amostragem, os confinamentos, as bocas de exaustão e os ramais. Por fim verificar a condição física do sistema de ventilação:

Se existem alguns defeitos óbvios – buracos, obstruções, fugas, pó acumulado, etc.

#### Apreciação visual do sistema

Componente	Condição
Campânulas de captura, receptoras, confinadoras	
Conduatas	
Filtro de ar	
Elemento motor (ventilador)	
Descarga	
Instrumentos de auxílio ao operador	

### Diagrama ou esquema do sistema de controlo de poeiras



#### Campânulas/bocas de captura

Número de identificação ou de referência	Processo – localização da fonte	Tipo de campânula/ forma (Foto)	Dimensões (Diâmetro)	Distância à fonte de emissão	Temperatura	Centro da face	L 1	L 2	Cima	Baixo
			(m)	(m)	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora
1			a							
2			b							
3			c							
Técnica de medição utilizada										
Indicadores de pressão estática ou de fluxo incluídos no sistema										
Comentário sobre o desempenho										
Recomendações e prioridades										

#### Conduatas de transporte de poeiras

Número de identificação ou de referência	Localização do teste	Comprimento entre alterações	Modelo/ forma/ foto	Área da secção	Temperatura	Centro da face	L 1	L 2	Cima	Baixo
		(m)		(m <sup>2</sup> )	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora
1										
2										
3										
Técnica de medição utilizada:										
Comentários/ observações										
Recomendações e prioridades *										

**Filtro/Equipamento colector**

Tipo		Técnica de medição
Marca / Modelo e identificação		
Filtro intermédio (se existir)		
Caudal, m <sup>3</sup> /s		
Pressão estática na entrada (Pa)		
Pressão estática na saída (Pa)		
Pressão estática no equipamento(Pa)		
O ar volta ao local de trabalho?	*	
Comentários		
Recomendações e prioridades **		

\*Sim/não

\*\* 1 = alta, 2 = normal, 3 = rotina

**Ventilador ou movimentador de ar**

Tipo		Técnica de medição
Marca / Modelo e identificação		
Dimensão		
Características		
Rotação (rpm)		
Direcção de rotação	*	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)		
Pressão estática na saída, Pa		

Pressão estática na entrada, Pa		
Comentários		
Recomendações e prioridades **		
Motor – filtro de mangas até silo de armazenamento		

\*Se roda na direcção correcta ou não

\*\* 1 = alta, 2 = normal, 3 = rotina

**Alarmes**

Campânulas/ bocas de captura	
Conduta	
Filtro do ar	
Ventilador	

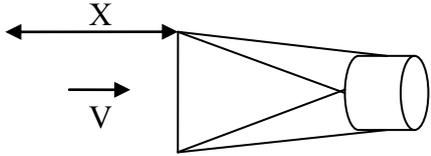
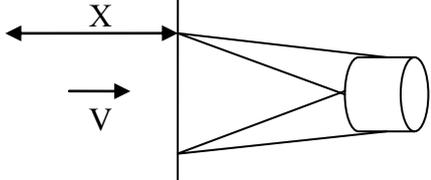
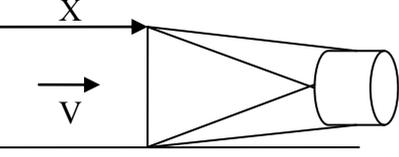
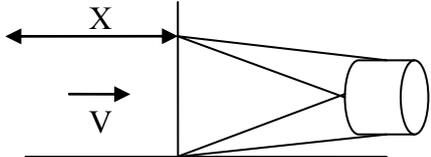
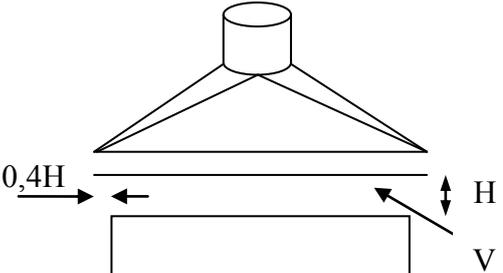
Ar de retorno	
Comentários	
Recomendações	

**Avaliação qualitativa da eficácia**

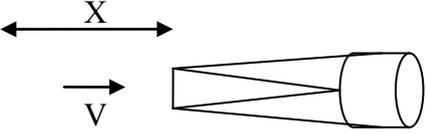
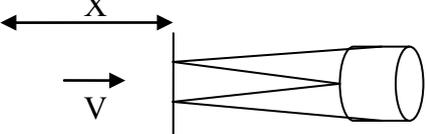
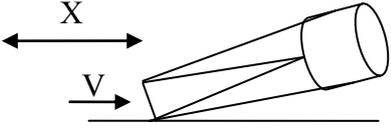
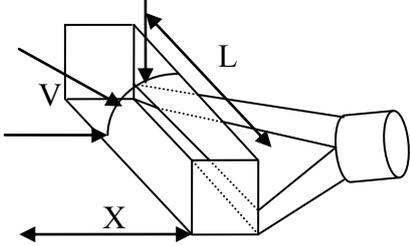
Observação da utilização do sistema pelo operador:	Observações e comentários
Campânulas de captura, receptoras, confinadoras	
Instrumentos de controlo	
Outros componentes	

## ANEXO J – Relações entre caudal de aspiração e velocidade de ar induzida pelo dispositivo de captação

Quadro 9- Caso de bocas de aspiração (L<5b)

<p>Boca isolada sem deflector</p>		$Q = (10X^2 + S)V$
<p>Boca isolada com deflector</p>		$Q = 0,75(10X^2 + S)V$
<p>Boca sem deflector, sobre o plano</p>		$Q = (5X^2 + S)V$
<p>Boca com deflector, sobre o plano</p>		$Q = 0,75(5X^2 + S)V$ e $Q = 3,14X^2V$ (Para X muito grande)
<p>Campânula</p>		$Q = 1,4PHV$ (para 4 lados abertos) $Q = (b + L)HV$ (para 2 lados abertos b e L)

Quadro 10 - Caso de fendas de aspiração ( $L > 5b$ )

<p>Fenda isolada sem deflector</p>		$Q = 3,7LXV$
<p>Fenda isolada com deflector</p>		$Q = 2,8LXV$
<p>Fenda sem deflector, apoiada no plano</p>		$Q = 2,8LXV$
<p>Fenda aspirante num volume limitado por dois planos</p>		$Q = \frac{\pi}{2}LXV$

## ANEXO L – Quadro de registos na visita às empresas

Quadro 11 – Ventiladores e filtros instalados

Empresa	Motor			Ventilador		
	Marca	Rotação (rpm)	Potência (kW)	Marca	Diâmetro (m)	Comprimento (m)
A1	Coral	1500	37	Turbo-nor	0,12	2,6
A2	ASP	1500	34,5	Ventil	0,12	2,6
A3	ASP	1500	34,5	Ventil	0,12	2,6
B1	MZ VENTILATORI	1500	110	Turbo-nor	-	-
B2	MZ VENTILATORI	1500	45	Turbo-nor	-	-
B3	Turbo-nor	1500	75	Turbo-nor	-	-
B4	Turbo-nor	1500	18,5	Turbo-nor	-	-
C1	Ventil	1500	15	Ventil	0,14	2,5
C2	Ventil	1500	-	Ventil	0,14	2,5
D	Ventil	1500	-	Turbo-nor	0,12	2,6
E	Ventil	-	-	Ventil	0,12	-
F	Turbo-nor	1500	90	Turbo-nor	-	-

Quadro 12 – Concentração de poeiras respiráveis

Sistema da empresa	Poeiras respiráveis		Sílica respirável	
	Concentração medida (mg/m <sup>3</sup> )	Valor Limite de Exposição (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração medida (mg/m <sup>3</sup> )	Valor Limite de Exposição (mg/m <sup>3</sup> )
E D	0,29	3	0,045	0,025
E D	0,27	3	0,035	0,025
E E	1,41	3	0,282	0,025
E E	0,58	3	0,114	0,025
E F	0,86	3	0,141	0,025
E F	0,83	3	0,162	0,025