

VITOR PASTORELLI GIACON

Análise das medidas de controle de poeira do Laboratório de  
Tratamento de Minérios de uma Universidade

São Paulo  
2018

VITOR PASTORELLI GIACON

Análise das medidas de controle de poeira do Laboratório de  
Tratamento de Minérios de uma Universidade

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

São Paulo  
2018

Dedico esse trabalho ao meu filho, Arthur,  
fonte de luz, inspiração e força na minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Dr. Homero Delboni Jr. e ao Prof. Dr. Sérgio Médici de Eston pela oportunidade de realizar esse curso; aos meus pais, Roberto e Angela, pelo apoio ao longo de toda minha vida, grandes entusiastas da minha evolução academia; à minha esposa, Gianna Toni, pelo companheirismo, estímulo e compreensão durante esses dois anos de curso; e aos colegas e professores do curso, companheiros de jornada, muito dos quais acabaram se tornando bons amigos.

“Conhecimento não é suficiente; devemos aplicá-lo. Intenção não é suficiente; devemos agir.”

*“Knowing is not enough; we must apply. Willing is not enough; we must do.”*

(Johann Wolfgang von Goethe)

## RESUMO

Uma das mais importantes doenças ocupacionais é a silicose, causada pela exposição continuada a partículas de sílica cristalina (quartzo) presentes na poeira. Doença progressiva e sem tratamento, a silicose pode ser prevenida ao se eliminar ou controlar a poeira no ambiente de trabalho. Dado a gravidade dessa doença, o fato de poder ser prevenida e o número de pessoas que sofrem dessa condição em todo o mundo, a Organização Mundial da Saúde (WHO, da sigla em inglês) criou, em 1995, o Programa Global para a Eliminação da Silicose (GPES, da sigla em Inglês) com o intuito de fomentar a troca de conhecimento entre os países envolvidos e criar políticas e ferramentas para efetivamente acabar com a silicose. O Brasil aderiu ao programa em 2004, criando o Programa Nacional de Prevenção à Silicose Na indústria da mineração, existem dois setores fundamentalmente diferentes onde os trabalhadores estão expostos a poeira: lavra e processamento mineral. Nas plantas de tratamento de minérios, as operações com maiores problemas com poeira são as de cominuição (britagem, moagem e peneiramento) e de manuseio (chutes, silos, entre outros). Este trabalho teve como objetivo verificar as medidas de controle de poeiras, existentes no Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) de uma universidade. Observou-se que, apesar da relativa limpeza das instalações e da correta utilização dos EPIs, os controles de engenharia nos pontos de geração da poeira são ineficazes ou inexistentes. Dessa forma, se faz necessário a adequação/ampliação do sistema VLE existentes, ou a substituição do mesmo por sistema de maior capacidade que atenda a todos os equipamentos geradores de poeira. Além disso, os EPIs disponíveis aos usuários externos estavam com CA vencido, sendo necessária sua substituição. Dessa forma, pode-se afirmar, que o objetivo do trabalho foi atingido.

**Palavras-chave:** Poeira. Controle de poeira. Silicose. Tratamento de Minérios. Proteção Respiratória. Ventilação Local Exaustora. VLE.

## ABSTRACT

One of the most important occupational diseases, silicosis is caused by continuous inhalation of crystalline silica dust. Progressive and with no treatment, silicosis can be prevented if the sources of airborne dust in the workplace are controlled or eliminated. Given the severity of this condition, the fact that it can be prevented and the sheer number of people affected worldwide, the World Health Organization (WHO) established, in 1995, the Global Program for the Elimination of Silicosis (GPES), which by means of wide international co-operation intended to create policies and best practices to effectively eliminate silicosis worldwide. Brazil has joined the program in 2004, establishing the National Program for the Elimination of Silicosis, Brazil (NPES-B). In the mining industry, there are two very different areas where workers can be exposed to dust: mining and mineral processing. In mineral processing plants, the dustiest operations are comminution (crusher, mills and screens) and materials handling (chutes, silos, etc.). The Objective of this document was to verify the dust control measures in place at a Mineral Processing Lab (LTM, from the name in Portuguese) in a university. Even though the lab usually is quite clean and the PPEs were correctly applied, the engineer controls in place are ineffective or non-existent. That's why it is required to improve and expand the existing LEV system or replace it by a new one with higher capacity, offering a way to control dust formation in all required equipment. Moreover, the PPEs available for external users has its CA (approval certificate, from the name in Portuguese) expired, being necessary it's replacement. Therefore, it can be said that the goal set has been achieved.

**Keywords:** Airborne dust. Dust Control. Silicosis. Mineral Processing. Respiratory Protection. Local Exhaust Ventilation. LEV.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo PDCA.....	15
Figura 2 – Hierarquia de Controles.....	17
Figura 3 – Sistema respiratório.....	19
Figura 4 – Esquema da porção terminal da arvore brônquica.....	20
Figura 5 – Tamanho das partículas de diversos aerossóis.....	24
Figura 6 – Visualização esquemática da Ventilação Geral.....	28
Figura 7 – Representação esquemática de sistema VLE.....	29
Figura 8 – Principais elementos do sistema VLE.....	30
Figura 9 – Efeito do enclausuramento no volume de ar necessário à captura da poeira.....	31
Figura 10 – Exemplo de captor enclausurante.....	32
Figura 11 – Exemplo de captor receptor.....	32
Figura 12 – Exemplo de operação correta e incorreta com coletor receptor.....	33
Figura 13 – Exemplo de captor externo.....	33
Figura 14 – Exemplo do impacto da inclusão de placas defletoras laterais na eficiência do coletor.....	34
Figura 15 – Elementos que compões o sistema de dutos: curvas, junções e uniões.....	34
Figura 16 – Velocidade de ar recomendada para o transporte de poeiras.....	35
Figura 17 – Caixa de sedimentação com defletores.....	36
Figura 18 – Esquema de funcionamento dos ciclones.....	37
Figura 19 – Precipitadores eletrostáticos (ESPs).....	38
Figura 20 – Filtro de manga.....	39
Figura 21 – Diferença de pressão antes e depois do ventilador.....	40
Figura 22 – Esquema de um ventilador de fluxo axial.....	41
Figura 23 – Esquema de um ventilador centrífugo.....	41
Figura 24 – Recirculação do ar devido à baixa altitude da chaminé.....	42
Figura 25 – Tipos de Equipamentos de Proteção Respiratória – EPR.....	44
Figura 26 – Fatores de Proteção Atribuídos para EPR.....	45
Figura 27 – Recomendações de EPI para sílica cristalina.....	46

Figura 28 – Mecanismos de captura de partículas nas fibras de um filtro.....	47
Figura 29 – Variação da penetração da partículas em função de seu diâmetro e velocidade do ar.....	48
Figura 30 – Quadro nº 1 – NR 15 – Anexo 12.....	52
Figura 31 – Britador de mandíbulas.....	55
Figura 32 – Moinho de discos.....	55
Figura 33 – Peneirador vibratório.....	56
Figura 34 – Sistema VLE do LTM.....	57
Figura 35 – Aspirador de pó RIDGID – Modelo WD0655BR.....	58
Figura 36 – Detalhe do filtro.....	58
Figura 37 – Ciclone para poeira – Modelo SN50T3.....	59
Figura 38 – Captor.....	60
Figura 39 – Sequência de Conexão da Mangueira do Coletor.....	60
Figura 40 – Pontos de conexão com o duto principal.....	61
Figura 41 – Detalhe do ponto de conexão com o duto principal.....	62
Figura 42 – Detalhe da colocação do captor no britador de mandíbulas.....	63
Figura 43 – Detalhe da colocação do captor no britador de rolos.....	64
Figura 44 – Detalhe da colocação do captor no moinho de discos.....	64
Figura 45 – Britadores sem sistema VLE.....	65
Figura 46 – Peneirador vibratório sem sistema VLE.....	66
Figura 47 – Exemplo de captor para peneira.....	67
Figura 48 – Pilha Alongada.....	67
Figura 49 – Máscara Semifacial utilizada no LTM – 3M 6200.....	68
Figura 50 – Máscara Semifacial Filtrante utilizada no LTM – PFF1.....	69

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1. OBJETIVO .....	13
1.2. JUSTIFICATIVA .....	13
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1. GESTÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (SST) .....	14
2.2. HIERARQUIA DE CONTROLES.....	16
2.3. SISTEMA RESPIRATÓRIO .....	18
<b>2.3.1. Doenças Respiratórias.....</b>	<b>21</b>
2.4. CONTAMINANTES DO AR .....	22
2.5. AEROSSÓIS .....	23
<b>2.5.1. Poeira .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2. Névoas.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.3. Neblina .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.4. Fumaça.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.5. Fumos.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.6. Radionuclídeos.....</b>	<b>27</b>
2.6. VENTILAÇÃO GERAL .....	27
2.7. VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA (VLE).....	28
<b>2.7.1. Captor .....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.2. Duto .....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.3. Filtro / Coletor.....</b>	<b>35</b>
<b>2.7.4. Ventilador.....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.5. Ponto de Descarga.....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.6. Ar de Reposição .....</b>	<b>42</b>
2.8. EPI .....	43
<b>2.8.1. Filtros para Aerodispersóides.....</b>	<b>46</b>
2.9. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA .....	48
<b>2.9.1. NR 6 – Equipamento de Proteção Individual (EPI) .....</b>	<b>48</b>
<b>2.9.2. NR 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais .....</b>	<b>50</b>
<b>2.9.3. NR 15 – Atividades e Operações Insalubres .....</b>	<b>51</b>

<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>54</b>
3.1. LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E RESÍDUOS INDUSTRIAIS (LTM)	54
3.2. MÉTODO	56
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>57</b>
4.1. CONTROLE DE POEIRA NO LTM	57
4.2. SISTEMA VLE	61
4.3. EQUIPAMENTOS NÃO ATENDIDOS PELO VLE	64
4.4. OUTRAS OPERAÇÕES SUJEITAS À LIBERAÇÃO DE POEIRA	67
4.5. EPI	68
4.6. OUTRAS CONSIDERAÇÕES	69
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Doenças respiratórias ocupacionais são frequentes em todos os setores. Os tipos de doenças causadas dependem da atividade da empresa, materiais manuseados, medidas de controle existentes, etc. Entretanto, mesmo trabalhadores corporativos estão sujeitos a doenças ocupacionais tais como asma e bronquite.

Uma das mais importantes doenças ocupacionais é a silicose, causada pela exposição continuada a partículas de sílica cristalina (quartzo) presentes na poeira. Doença progressiva e sem tratamento, a silicose pode ser prevenida ao se eliminar ou controlar a poeira no ambiente de trabalho. Dado a gravidade dessa doença, o fato de poder ser prevenida e o número de pessoas que sofrem dessa condição em todo o mundo, a Organização Mundial da Saúde (WHO, da sigla em inglês) criou, em 1995, o Programa Global para a Eliminação da Silicose (GPES, da sigla em Inglês) com o intuito de fomentar a troca de conhecimento entre os países envolvidos e criar políticas e ferramentas para efetivamente acabar com a silicose. O Brasil aderiu ao programa em 2004, criando o Programa Nacional de Prevenção à Silicose (WHO, 2007).

Os setores onde os trabalhadores estão mais frequentemente expostos à sílica cristalina são: mineração; cerâmica e vidro; metalurgia; e construção civil.

Na indústria da mineração, existem dois setores fundamentalmente diferentes onde os trabalhadores estão expostos a poeira: lavra e processamento mineral. Nas frentes de lavra, principalmente em minas subterrâneas, os trabalhadores estão expostos a uma grande quantidade de gases (como os gerados na operação de desmonte) e aerossóis (como os fumos dos motores a diesel) além das poeiras. Já nas plantas de tratamento de minério, a presença desses outros contaminantes não é tão frequente, acontecendo apenas em pontos específicos de algumas operações. Dessa forma, as estratégias, ações e ferramentas de controle deverão ser diferentes.

Nas plantas de tratamento de minérios, as operações com maiores problemas com poeira são as de cominuição (britagem, moagem e peneiramento) e de manuseio (chutes, silos, entre outros).

## 1.1. OBJETIVO

Verificar as medidas de controle referentes ao controle de poeiras, existentes no Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) de uma Universidade.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Trabalhadores expostos a poeira, estão expostos a sílica cristalizada, portanto sob risco de desenvolverem silicose. Por ser uma doença progressiva e sem tratamento, mesmo exposições a doses pequenas, mas contínuas, podem comprometer o pulmão e gerar doenças crônicas, comprometendo a qualidade de vida dos trabalhadores. Dessa forma, todo esforço deve ser aplicado na prevenção e controle de poeiras.

O LTM, por sua natureza multiusuário, recebe constantemente alunos e pesquisadores de outras unidades da universidade, além de alunos de graduação e pós do próprio departamento onde se encontra. Além disso, recebe e processa quantidade significativa de amostra de minérios para realizar os mais diversos testes.

Dessa forma, é importante verificar as medidas de controle de poeira existentes e sua efetividade, buscando oportunidades de melhoria para garantir a segurança de todos os usuários do laboratório.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. GESTÃO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (SST)

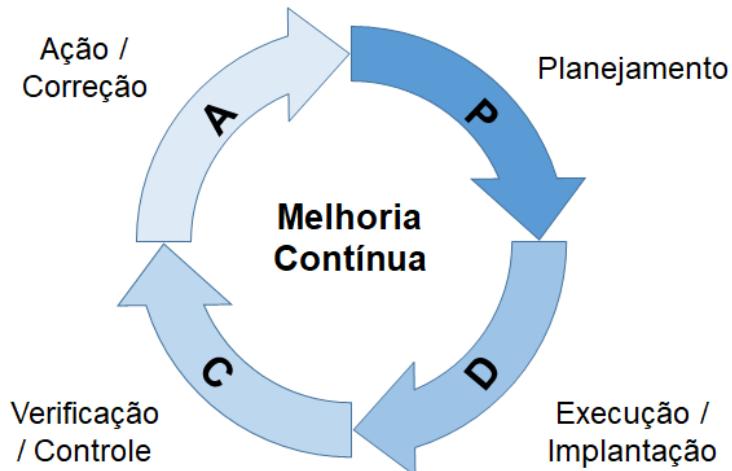
A fim de diminuir as doenças ocupacionais e os acidentes de trabalho é necessário se diminuir as condições perigosas existente no local de trabalho. Para se atuar sobre uma condição perigosa, antes é necessário conhecê-la. Para isso, empresas realizam frequentemente diagnósticos e auditorias.

Entretanto, apenas identificar o problema não elimina ou diminui a condição perigosa, apesar de ser o primeiro passo nessa direção. Para ajudar as empresas a solucionar esse problema, a BSI (*British Standard Institution*) publicou, em 1999, a OHSAS 18001 - Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional. Não se trata de uma norma, e sim um guia, uma vez que sua implantação não é obrigatória. Neste guia, é apresentado um Sistema de Gestão de SST, condições para sua implantação e como isso deve ser feito.

O objetivo de se implantar um sistema de gestão de SST é construir uma estrutura gerencial que permita às organizações identificar, avaliar e controlar as condições perigosas de forma contínua, a fim de garantir um ambiente de trabalho cada vez mais seguro (USP, 2016a).

Um dos princípios presente na OHSAS 18001 é o da melhoria contínua. Esse princípio é representado pelo ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), ilustrado na Figura 1, metodologia na qual foi baseada.

Figura 1 – Ciclo PDCA.



Fonte: Arquivo pessoal.

Segundo a NBR 18801 (ABNT, 2011) que, apesar de ter sido cancelada, foi baseada na OSHAS 18001, as fases do ciclo PDCA incluem:

- Planejamento
  - Identificação, avaliação e controle de riscos;
  - Gestão de mudanças;
  - Requisitos legais e outros; e
  - Objetivos de SST.
- Execução / Implantação
  - Recursos, funções, responsabilidades, atribuições e autoridades;
  - Competência, treinamento e experiência;
  - Procedimentos de SST;
  - Comunicação;
  - Documentação;
  - Controle de documentação;
  - Controle operacional; e
  - Preparação e resposta a emergências.
- Verificação / Controle
  - Monitoramento e medição do desempenho;
  - Avaliação de conformidade;
  - Identificação e análise de:
    - Incidentes e acidentes;
    - Não-conformidades;

- Ações corretivas; e
- Ações preventivas.
- Controle de registros; e
- Auditoria interna.
- Ação / Correção
  - Periodicamente, a alta administração deve analisar criticamente o sistema de gestão de SST, para assegurar sua contínua adequação, suficiência e eficácia;
  - Estas análises críticas devem incluir a avaliação de oportunidades de melhoria e a necessidade de alteração do referido sistema de gestão, incluindo a política e os objetivos da SST;
  - Os registros das análises críticas feitas pela alta administração devem ser mantidos;
  - As informações geradas a partir dessas análises críticas servirão de *input* para o início do novo ciclo PDCA.

## 2.2. HIERARQUIA DE CONTROLES

Após a identificação das condições perigosas e análise dos riscos associados, deve-se determinar controles capazes de mitiga-los. É importante lembrar que risco é estimado em função da probabilidade de materialização da condição perigosa em um evento indesejado e da consequência dessa materialização. Risco se calcula, não se identifica (USP, 2016a).

Segundo o *National Institute for Occupational Safety and Health* (EUA, 2015), ao se planejar / determinar / implementar controles, a fim de que os mesmos sejam mais efetivos, deve-se considerar os tipos de controles na seguinte ordem:

- Eliminação;
- Redução (ou substituição);
- Controles de engenharia;
- Controles administrativos; e
- Equipamento de proteção individual (EPI).

Tal sequência de tipos de controle, ilustrada na Figura 2, é chamada de hierarquia de controle, e a ideia por trás dela é que os métodos de controle no topo do gráfico são potencialmente mais efetivos e protegem melhor o trabalhador do que aqueles na parte de baixo (EUA, 2015).

Figura 2 – Hierarquia de Controles.



Fonte: Adaptado de EUA (2015).

- Eliminação e Redução

Eliminação e redução, apesar de serem os métodos de controle mais efetivos, também costumam ser os mais difíceis e caros de implementar num processo existente. Entretanto, se o processo ainda estiver na fase de projeto ou de desenvolvimento, esses métodos podem ser baratos e simples de implementar (EUA, 2015).

- Controles de Engenharia

Controles de engenharia são projetados para colocar uma barreira entre o trabalhador e a condição perigosa à qual ele está exposto. Esses controles, quando bem projetados, podem ser altamente efetivos na proteção dos trabalhadores e, geralmente, são independentes das interações com os mesmos. Os custos iniciais dos controles de engenharia costumam ser maiores que o de controles administrativos ou EPI, mas, no longo prazo, seus custos operacionais são geralmente baixos e, em alguns casos, podem gerar economias em outras áreas (EUA, 2015).

- Controles Administrativos e EPI

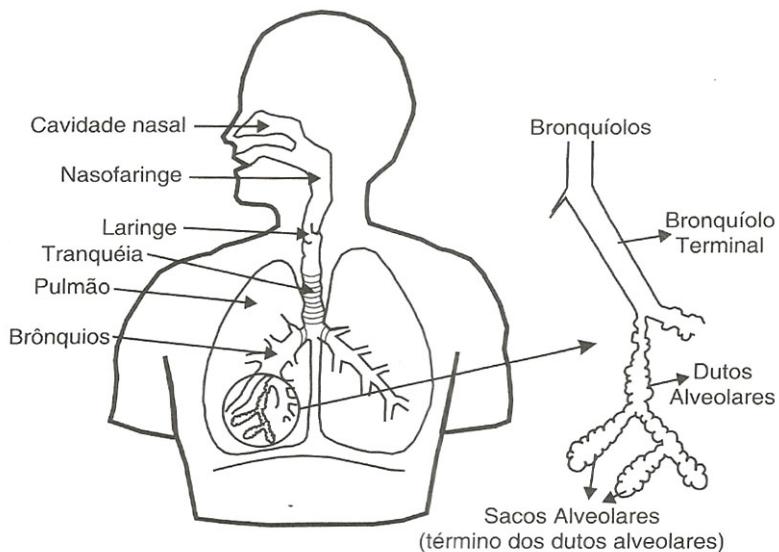
Controles administrativos e EPI são frequentemente usados em processos existentes onde as condições perigosas não são bem controladas. Apesar de serem relativamente baratos para implantar, são geralmente bastante caros para se manter. Esses métodos, além de serem comprovadamente menos efetivos na proteção do trabalhador, requerem esforço e comprometimento significativo dos mesmos (EUA, 2015).

### 2.3. SISTEMA RESPIRATÓRIO

O sistema respiratório pode ser dividido em três regiões: nasofaringe, traqueobrônquica e região alveolar. A Figura 3 ilustra os principais elementos do sistema respiratório humano (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Na região da nasofaringe, composta pelo nariz, boca, faringe e laringe, o ar é aquecido até 37°C e umedecido até quase a saturação. As maiores partículas inaladas, com diâmetro aerodinâmico maior do que 30 µm, são depositadas nessa região. O muco, que reveste toda a região condutora de ar até os alvéolos, além de umedecer o ar, tem importante papel na retenção e descarte das partículas que ficaram presas nos pelos e na cavidade nasal (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Figura 3 – Sistema respiratório.



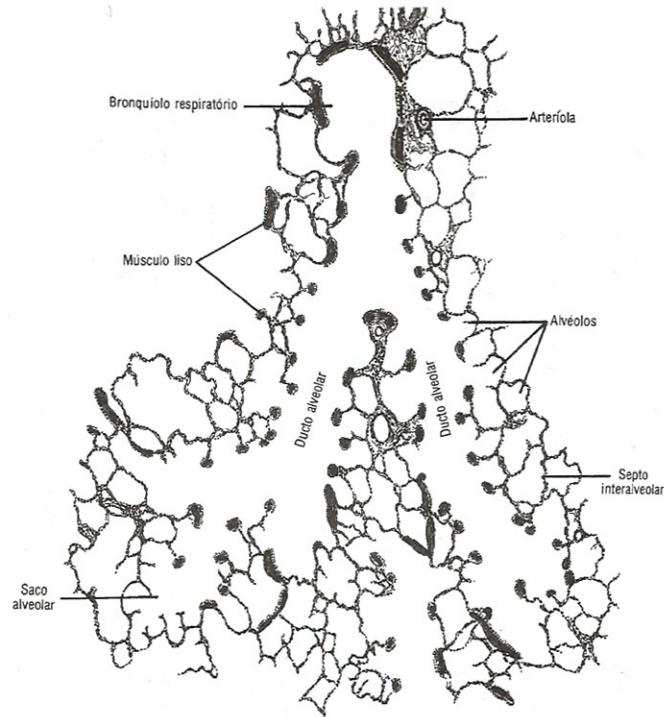
Fonte: Torloni e Vieira (2003).

A região traqueobrônquica, composta pela traqueia, brônquios, bronquíolos e bronquíolos terminais, é onde se depositam as partículas maiores 10 µm. Essa região, onde os dutos vão se subdividindo em ramais cada vez mais finos e numerosos, é chamada de “árvore brônquica”. Devido à grande variação da espessura dos dutos de ar nessa região, assim como o número dos mesmos, a velocidade do ar varia largamente, de 145 cm/s na traqueia, a 0,08 cm/s nos dutos alveolares. Essa grande variação da velocidade do ar leva a diferentes mecanismos de deposição de partículas nas diferentes regiões. Todas as vias condutoras de ar, até os bronquíolos, são recobertas por células ciladas. Graças ao movimento ondulatório dos cílios, o muco é transportado para a faringe, até a região de deglutição, transportando as partículas e microorganismos nele aprisionados (TORLONI; VIEIRA, 2003).

A região alveolar, composta pelos dutos alveolares, átrios, alvéolos e sacos alveolares, é onde ocorre a deposição de partículas menores que 10 µm, assim como onde ocorrem as trocas gasosas propriamente ditas. A Figura 4 apresenta uma representação esquemática da porção terminal da árvore brônquica. Como as trocas gasosas ocorrem nessa região, as paredes dos alvéolos são extremamente finas e não são recobertas por cílios e muco. No interior dos alvéolos, existem macrófagos responsáveis pela captura das partículas aqui depositadas. Quando esses macrófagos alveolares estão cheios de material fagocitado, podem migrar pela árvore

brônquica até chegar faringe, onde são deglutidos, podem ser removidos para o sistema linfático, ou permanecem na região pulmonar (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Figura 4 – Esquema da porção terminal da arvore brônquica.



Fonte: Torloni e Vieira (2003).

Além do transporte mucociliar e da remoção local de contaminantes (macrófagos), citados anteriormente, existem outros mecanismos de defesa do sistema respiratório. Segundo Widdcomb (1981) apud Torloni e Vieira (2003), esses mecanismos de defesa podem ser agrupado em quatro grupos:

- Reflexos defensivos;
- Transporte mucociliar;
- Remoção local; e
- Reação em nível celular.

O funcionamento do transporte mucociliar e a remoção local (macrófagos), que também são chamados de *clearance*, já foram brevemente explicados anteriormente. Os reflexos defensivos agem rapidamente em situações que qualquer demora pode ser fatal. Essas respostas incluem diversos tipos de reações, como alteração da

respiração, da quantidade de muco secretado, do diâmetro de dutos respiratórios e do sistema cardiovascular. Exemplos desse tipo de mecanismo são a tosse, o espirro, a deglutição, a apneia e a irritação pulmonar (TORLONI; VIEIRA, 2003).

O quarto mecanismo de defesa são as reações bioquímicas em nível celular. Estas podem ocorrer de forma imediata, como na reação a um alergênico, ou mais lentamente, como em uma inflamação (TORLONI; VIEIRA, 2003).

### **2.3.1. DOENÇAS RESPIRATÓRIAS**

As doenças respiratórias causadas pela inalação de materiais particulados variam de acordo com a natureza dessas partículas, sua distribuição granulométrica, sua toxicidade, região de deposição, mecanismo de defesa atuante, etc. Como exemplo de doenças respiratórias causada por partículas, podemos citar: fibrose, bronquite; asma; pneumoconioses e câncer (TORLONI; VIEIRA, 2003).

#### **2.3.1.1. DOENÇAS RESPIRATÓRIAS CRÔNICAS (DRC)**

Doenças respiratórias crônicas (DRC) são doenças crônicas tanto das vias aéreas superiores como das inferiores. A asma, a rinite alérgica e a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) são as DRC mais comuns. Representam um dos maiores problemas de saúde mundialmente. Centenas de milhões de pessoas de todas as idades sofrem dessas doenças e de alergias respiratórias em todos os países do mundo e mais de 500 milhões delas vivem em países em desenvolvimento. As DRC estão aumentando em prevalência particularmente entre as crianças e os idosos. Afetam a qualidade de vida e podem provocar incapacidade nos indivíduos afetados, causando grande impacto econômico e social. As limitações físicas, emocionais e intelectuais que surgem com a doença, com consequências na vida do paciente e de sua família, geram sofrimento humano (BRASIL, 2010).

### 2.3.1.2. PNEUMOCONIOSES

Pneumoconiose significa acúmulo de partículas nos pulmões e as consequentes reações do tecido pulmonar. Dependendo da composição principal das partículas acumuladas e de sua toxicidade, podem receber nomes específicos, como asbestose (acumulo de asbestos) e silicose (acumulo de sílica livre cristalina). Por ser causada pelo quartzo (sílica livre), segundo mineral mais abundante na natureza, a silicose é o principal tipo de pneumoconiose (WHO, 1999).

A silicose se desenvolve devido à inalação de partículas finas (2 a 4 µm) de sílica cristalina, que ao chegar na região alveolar, são fagocitadas pelos macrófagos. Devido à reação causada pela sílica cristalina, esses macrófagos morrem, permanecendo na região alveolar, juntamente com a partícula. Esse processo se repete, então, várias vezes (quanto maior a exposição a sílica cristalina, mais vezes acontece), acabando por danificar os tecidos alveolares, que perdem a elasticidade e permeabilidade ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. A área de troca gasosa vai diminuindo gradativamente, uma vez que a doença é cumulativa e irreversível. A silicose crônica acaba resultando em efeitos cardiopulmonares fatais (TORLONI; VIEIRA, 2003).

## 2.4. CONTAMINANTES DO AR

Do ponto de vista da proteção respiratória, existem basicamente três classes de contaminantes do ar:

- Contaminantes particulados (aerossóis);
- Contaminantes gasosos (vapores e gases); e
- Agentes biológicos.

Contaminantes particulados podem ser definidos como uma suspensão de partículas, sólidas ou líquidas, no ar. Essa suspensão recebe o nome genérico de aerossol ou aerodispersóide (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Contaminantes gasosos são compostos de vapores e gases que, embora conceitualmente diferentes, se comportam de forma similar e, por essa razão, costumam ser tratados de forma similar (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Agentes biológicos são organismos vivos dispersos no ar, capazes de causar doenças nos trabalhadores. Como exemplo, podemos citar os insetos, fungos, bactérias, parasitas, protozoários, vírus, etc (TORLONI; VIEIRA, 2003).

## 2.5. AEROSSÓIS

Segundo a Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*, ou WHO) (WHO, 1999), contaminantes presentes no ar podem ocorrer na forma gasosa ou como aerossóis. Pode-se definir aerossol como um sistema de partículas suspensas em meio gasoso, geralmente o ar. Aerossóis podem existir na forma de poeiras, névoas, neblina, fumaças, fumos e radionucléos.

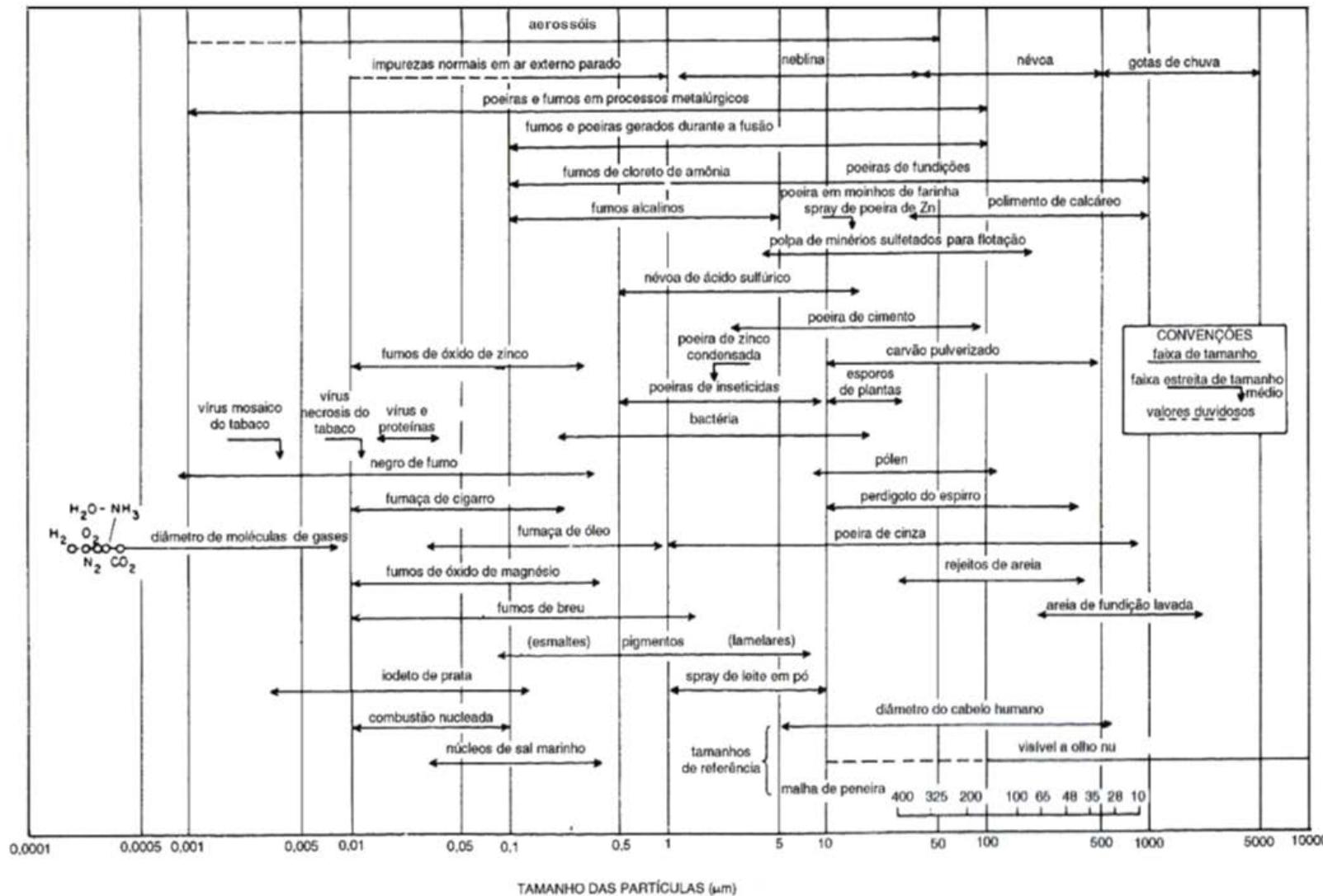
Como o formato das partículas sólidas é irregular, assim como sua densidade varia de substância para substância, variando, dessa forma, seu comportamento aerodinâmico. Por essa razão que é comum, quando se referindo ao tamanho das partículas, utilizar-se a termo diâmetro aerodinâmico (WHO, 1999).

Define-se o diâmetro como sendo o diâmetro aerodinâmico da partícula, ou seja, o diâmetro de uma esfera com densidade de  $1 \text{ g/cm}^3$  que tem a mesma velocidade terminal de sedimentação que a partícula em questão, independentemente de seu tamanho geométrico, formato ou densidade real (WHO, 1999).

No presente documento, quando se falar em “tamanho” de partículas, estará sendo feita referência ao seu “diâmetro aerodinâmico”.

Segundo Torloni e Vieira (2003), os aerossóis são constituídos por partículas com diâmetro aerodinâmico entre  $0,01 \mu\text{m}$  e  $100 \mu\text{m}$ , conforme ilustra a Figura 5, a seguir.

Figura 5 – Tamanho das partículas de diversos aerossóis.



Fonte: Adaptado de Liedel, Busch e Linch (1977) apud Torloni e Vieira (2003).

### 2.5.1. POEIRA

Segundo a Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*, ou WHO) (WHO, 1999), contaminantes presentes no ar podem ocorrer na forma gasosa ou como aerossóis. Pode-se definir aerossol como um sistema de partículas suspensas em meio gasoso, geralmente o ar. Aerossóis podem existir na forma de poeiras, sprays, névoas, fumaças e fumos.

Segundo a *International Standardization Organization* (ISO 4225 – ISO, 1994) apud WHO (1999), pode-se definir poeira como “pequenas partículas sólidas, menores que 75 µm, que sedimentam devido ao próprio peso, mas que podem ficar em suspensão por algum tempo”. Já o “*Glossary of Atmospheric Chemistry Terms*” (IUPAC, 1990) apud WHO (1999), define poeira como sendo “partículas sólidas, pequenas e secas, com diâmetros entre 1 µm e 100 µm, que sedimentam lentamente sob a influência da gravidade”. Essa última fração granulométrica apresentada será a usada no presente documento.

Segundo WHO (1999), existem três frações de interesse nas poeiras:

- Inalável – fração da nuvem de poeira que pode ser inalada pelo nariz e boca;
- Torácica – fração da nuvem de poeira que pode penetrar na região traqueobrônquica;
- Respirável – fração da nuvem de poeira que pode penetrar até a região alveolar.

#### 2.5.1.1. DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

O Excesso de poeira no ar pode acarretar a diferentes doenças respiratórias, dependendo das características do material particulado e da região de deposição. Os efeitos à saúde resultantes da exposição à poeira podem tornar-se evidentes somente depois de exposição repetida ou de longa duração (WHO, 1999).

Entre as muitas doenças respiratórias resultantes da exposição a poeiras, podemos citar (WHO, 1999):

- Pneumoconioses – acumulação de poeira nos pulmões e a reação do tecido à sua presença;
- Silicose – doença pulmonar fibrogênica causada pela exposição excessiva a poeira composta de ou que contém sílica cristalina livre, é irreversível, progressiva, incurável e, nos últimos estágios, incapacitante e, eventualmente, fatal;
- Bissinose – doença pulmonar obstrutiva, usualmente caracterizada nos estágios iniciais pela brevidade da respiração, opressão no peito e respiração ofegante, também chamada de “pulmão marrom”;
- Câncer – poeiras podem conter agentes carcinogênicos confirmados que podem causar câncer pulmonar e mesotelioma.

Na indústria da mineração em geral a silicose pode ser considerada a doença respiratória mais comum, uma vez que o quartzo (fonte de sílica livre) é um mineral extremamente abundante.

### **2.5.2. NÉVOAS**

A névoa é uma suspensão de partículas líquidas no ar, geradas pela ruptura mecânica de um líquido. Como exemplos podemos citar tinta *spray*; operação de nebulização de agrotóxicos; processos eletrolíticos nos quais as bolhas geradas se rompem na superfície, formando a névoa (TORLONI; VIEIRA, 2003).

### **2.5.3. NEBLINA**

Neblina é uma suspensão de partículas líquidas no ar geradas por condensação do vapor de um líquido volátil. A condensação do vapor no ar só pode ocorrer quando este fica saturado, seguido da diminuição da temperatura do ar, provocando, então, a condensação do excesso de vapor presente (TORLONI; VIEIRA, 2003).

#### **2.5.4. FUMAÇA**

Fumaça é a mistura formada por gases, vapores e partículas suspensas no ar resultantes da combustão de materiais (TORLONI; VIEIRA, 2003).

#### **2.5.5. FUMOS**

Fumos são constituídos de partículas sólidas formadas pela condensação de vapores, geralmente após a volatização de metais fundidos. Tais partículas são extremamente pequenas, menores que 1 µm (TORLONI; VIEIRA, 2003).

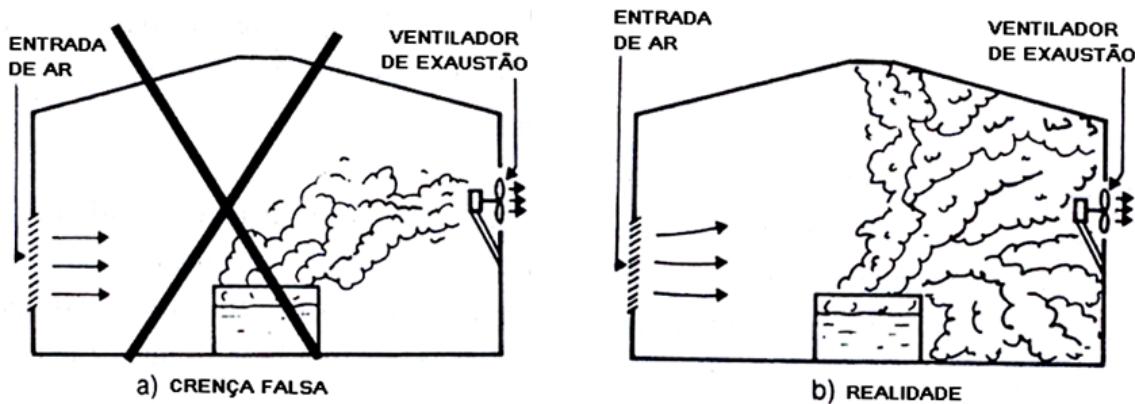
#### **2.5.6. RADIONUCLÍDEOS**

Alguns materiais possuem a capacidade de emitir espontaneamente radiação ionizante. A poeira que contém algum desses materiais representa uma condição perigosa ainda maior. Essas partículas, se inaladas, irão se depositar em algum lugar do sistema respiratório, e sua radiação irá afetar as células próximas. Se essa partícula ficar alojada em algum lugar, pode acarretar diversos problemas, inclusive câncer (TORLONI; VIEIRA, 2003).

### **2.6. VENTILAÇÃO GERAL**

O termo ventilação geral se aplica à movimentação de ar em ambiente industrial. De acordo com sua função, pode ser classificada com ventilação para diluição ou para controle de calor. A ventilação para diluição visa diminuir a concentração de determinados contaminantes no ar do ambiente de trabalho. Pelas suas características, não deve ser utilizado em ambientes com equipamentos ou processos que geram grande volume de contaminantes aéreos (POCOVÍ, 1999), como ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Visualização esquemática da Ventilação Geral.



Fonte: Adaptado de INRS (1996) apud WHO (1999).

## 2.7. VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA (VLE)

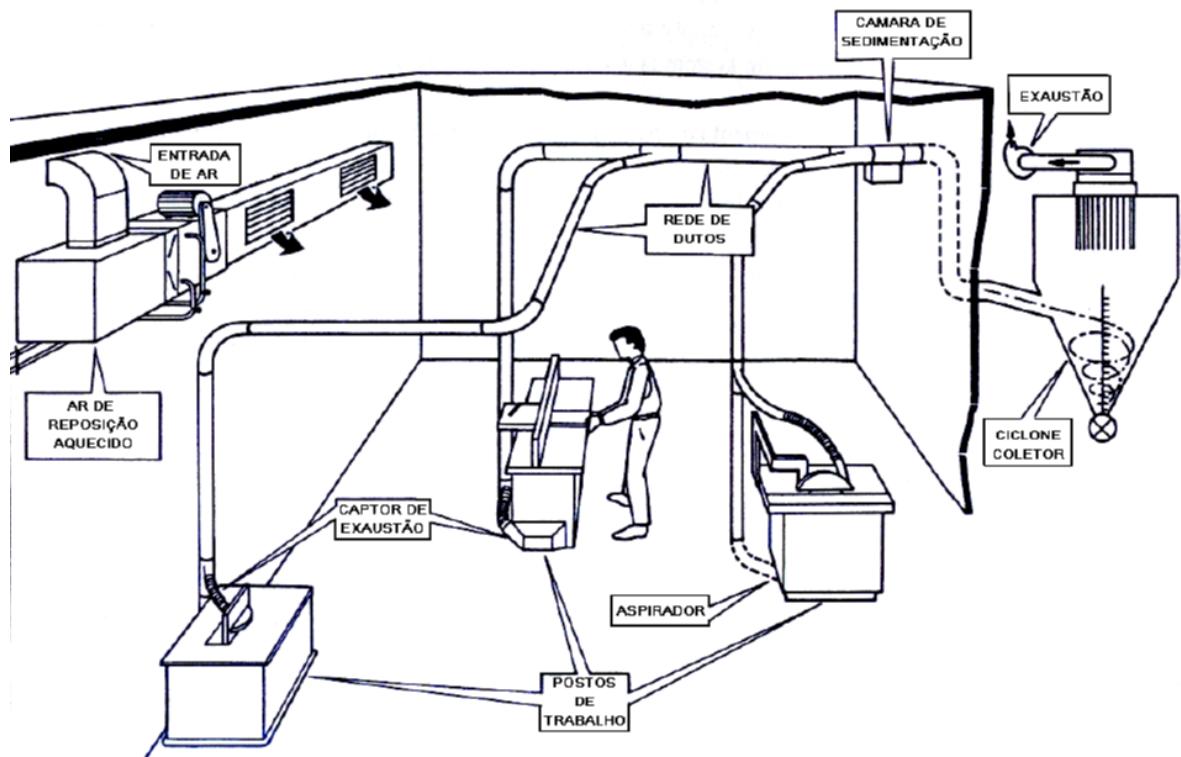
Ventilação Local Exaustora (VLE) é um Sistema de controle de engenharia capaz de reduzir contaminantes do ar, tais como poeiras, névoas, fumos, vapores e gases. A VLE extrai o ar próximo à fonte de geradora de contaminantes, e tem como objetivo captura-los e removê-los antes que possam se espalhar por todo o ambiente de trabalho e alcançar as zonas respiratórias dos trabalhadores (WHO, 1999).

Geralmente esses sistemas são compostos pelos seguintes elementos:

- Captor – onde a nuvem de contaminantes entra no sistema de VLE;
- Duto – responsáveis pela condução do ar e dos contaminantes do captor ao ponto de descarga;
- Filtros ou coletores – filtram ou limpam o ar; não são necessários em todos os sistemas;
- Ventiladores – são os motores do sistema, responsáveis por fornecer a energia necessária para a movimentação do ar;
- Descarga – ponto de liberação do ar extraído para um local seguro.

A Figura 7, a seguir, apresenta um exemplo de uma operação com sistema VLE.

Figura 7 – Representação esquemática de sistema VLE.

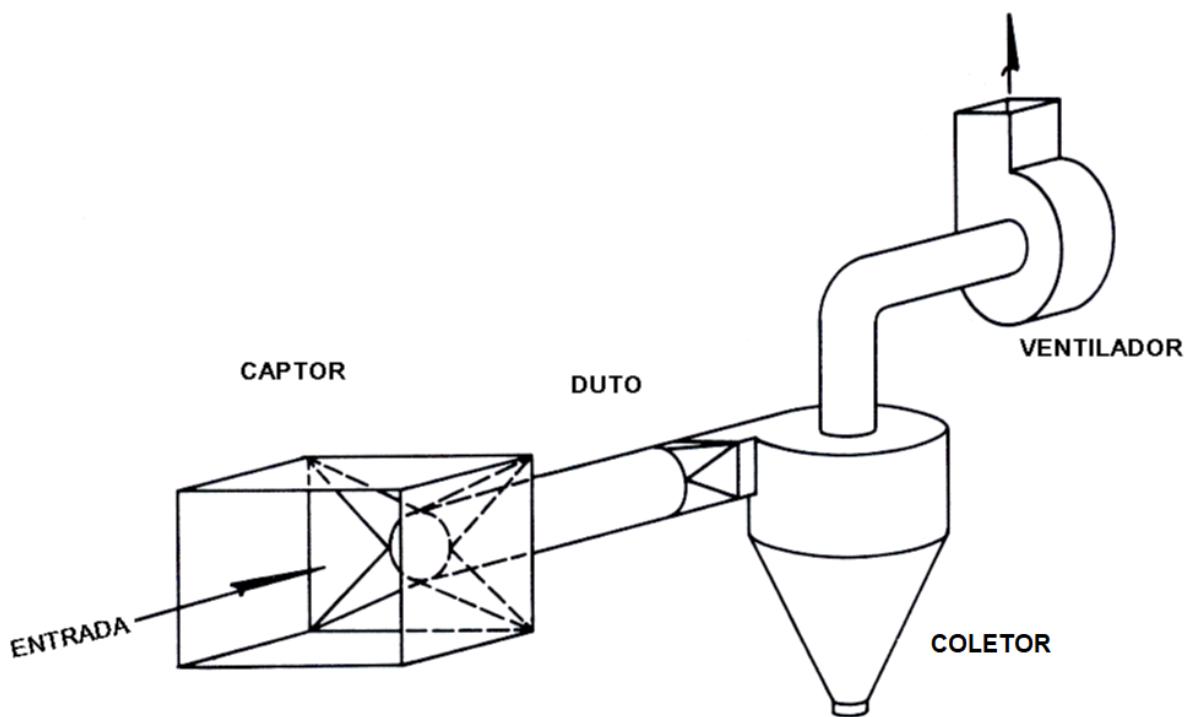


Fonte: Adaptado de INRS (1992) apud WHO (1999).

Em médias e grandes instalações, é importante identificar todos os elementos que possam fazer parte do sistema VLE, para que se possa dimensionar e controlar tal sistema de maneira efetiva. Como exemplo, podemos citar encausuramento de máquinas, se estes têm sistema de extração para controle de emissões; chaminés de processos a quente, como fornalhas e fornos; sistema de reposição do ar extraído, principalmente em grandes cabines ventiladas onde grandes volumes de ar são retirados da área de trabalho (HSE, 2008).

Nos sistemas VLE, o ventilador produz uma pressão negativa, movimentando o ar pelos dutos e sugando o ar nos arredores da abertura do captor. O ar, ao se movimentar ao longo dos dutos, passar por uniões e curvas ou passar por outros elementos, como filtros e coletores, sofre uma perda de carga. Dessa forma, ao se projetar um sistema VLE, deve-se garantir que a velocidade do ar seja suficiente para capturar a poeira (ou outros aerossóis) e manter as partículas em suspensão em todos os pontos de tal sistema (WHO, 1999). A Figura 8 ilustra os principais elementos de um sistema VLE.

Figura 8 – Principais elementos do sistema VLE.



Fonte: Adaptado de NIOSH (1973) apud WHO (1999).

### 2.7.1. CAPTOR

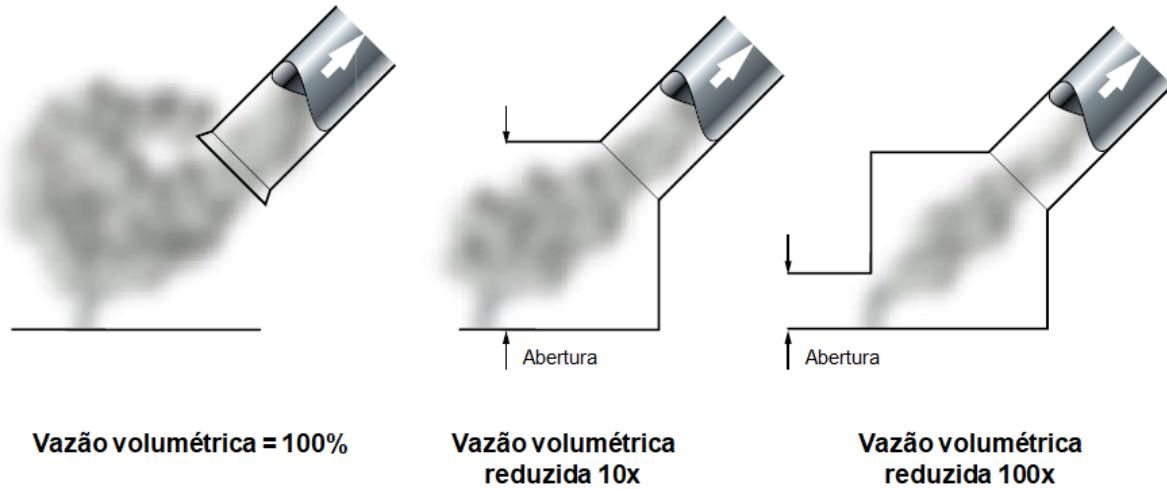
O captor é um elemento crucial, especialmente projetado para movimentar os contaminantes para o interior do sistema VLE. Existem captores dos mais diversos formatos e tamanhos que podem ser instalados acima, abaixo ou ao lado da fonte geradora de contaminantes. Apesar de todos parecerem trabalhar da mesma forma, eles controlam as nuvens de contaminantes de, basicamente, três formas distintas (HSE, 2008). Dessa forma, divide-se os captores em três grupos básicos:

- Captores enclausurantes – circundam a fonte de emissão de tal forma que os contaminantes atmosféricos são impedidos de serem liberados para o ambiente de trabalho;
- Captores receptores – localizados a pequena distância da fonte; os contaminantes são puxados para dentro do captor por um fluxo de ar;
- Captores externos – utilizam o movimento de uma corrente de ar ejetada para carregar os contaminantes da fonte para o interior do captor de coleta.

O tipo de captor e o fluxo de ar requerido dependem da configuração física do equipamento e das características de emissão do processo, tal como o tipo de contaminante e a taxa de geração, e também das condições do ambiente de trabalho, tais como ventos transversais, posição dos trabalhadores, espaço disponível e outras operações na vizinhança. Os captores devem ser localizados o mais próximo possível da fonte, preferencialmente envolvendo-a total ou parcialmente, e projetados de tal forma que o padrão de fluxo de ar assegure que o contaminante seja capturado e retido (WHO, 1999).

Quanto mais a fonte for envolvida, menor será o fluxo de ar requerido para o controle efetivo da nuvem de contaminantes, como pode ser observado na Figura 9.

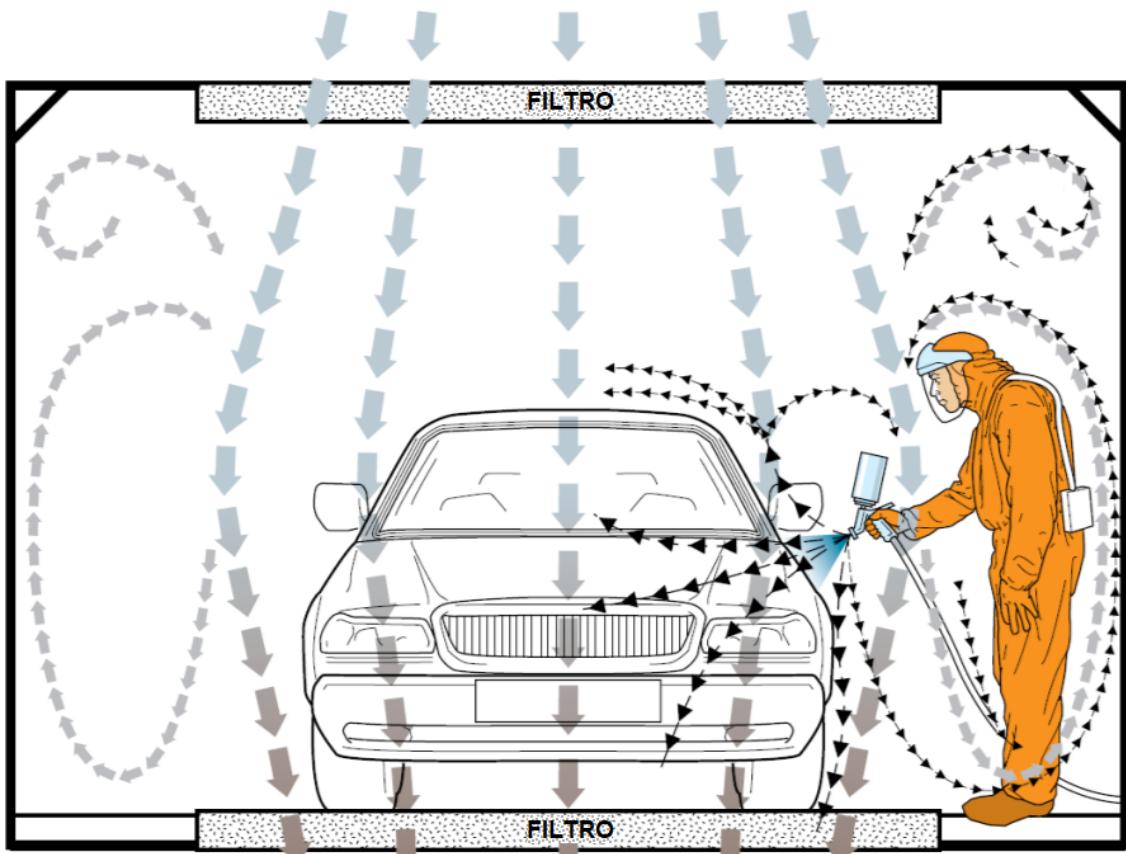
Figura 9 – Efeito do encausuramento no volume de ar necessário à captura da poeira.



Fonte: Adaptado de HSE (2008).

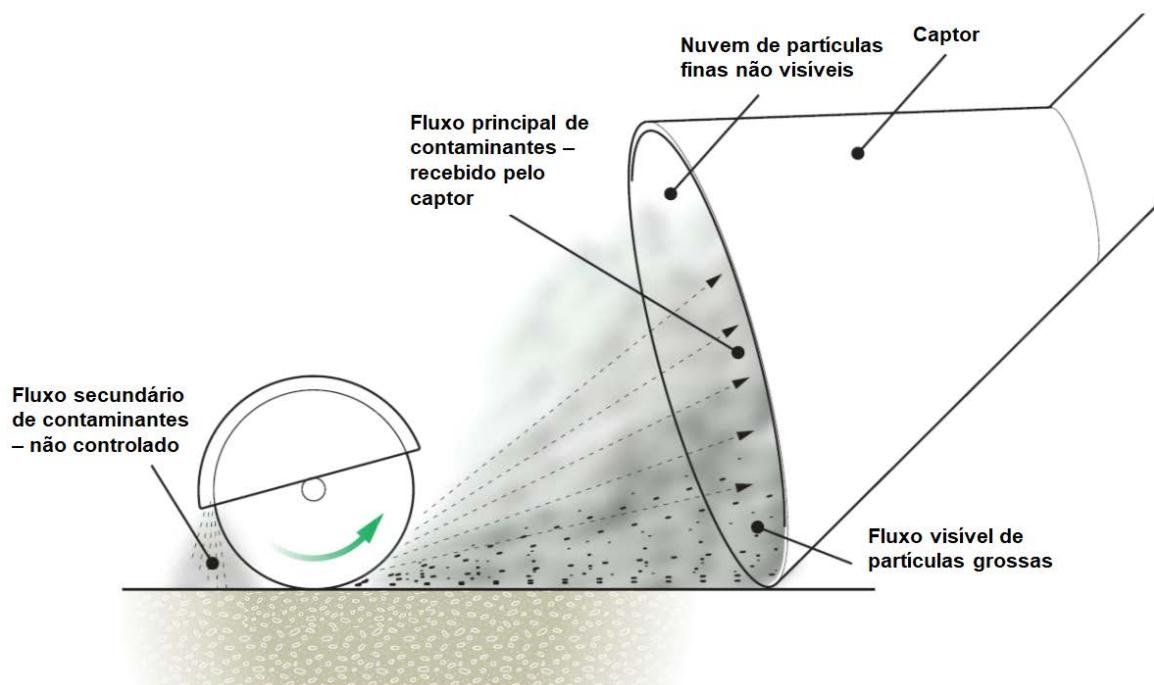
A Figura 10 apresenta um exemplo de operação com captor encausurante, a Figura 11 e a Figura 12 apresentam exemplos de operação com captor receptor, já a Figura 13 apresenta em exemplo de captor externo.

Figura 10 – Exemplo de captor encausurante.



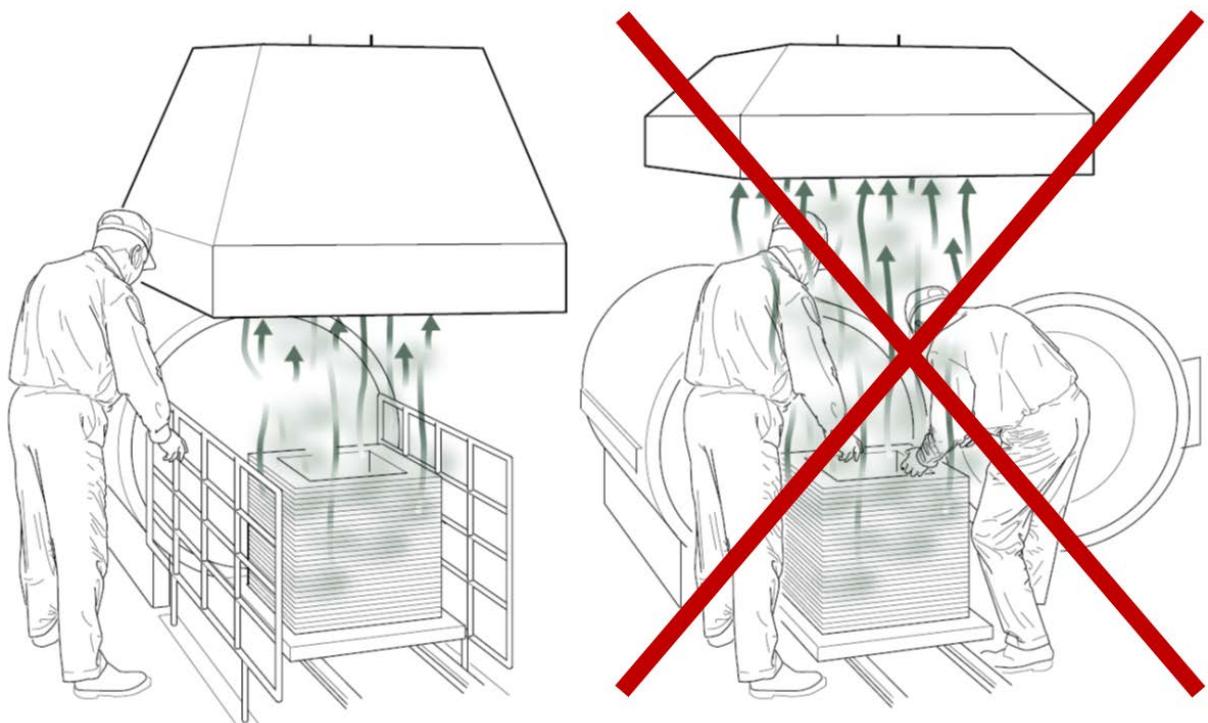
Fonte: Adaptado de HSE (2008).

Figura 11 – Exemplo de captor receptor.



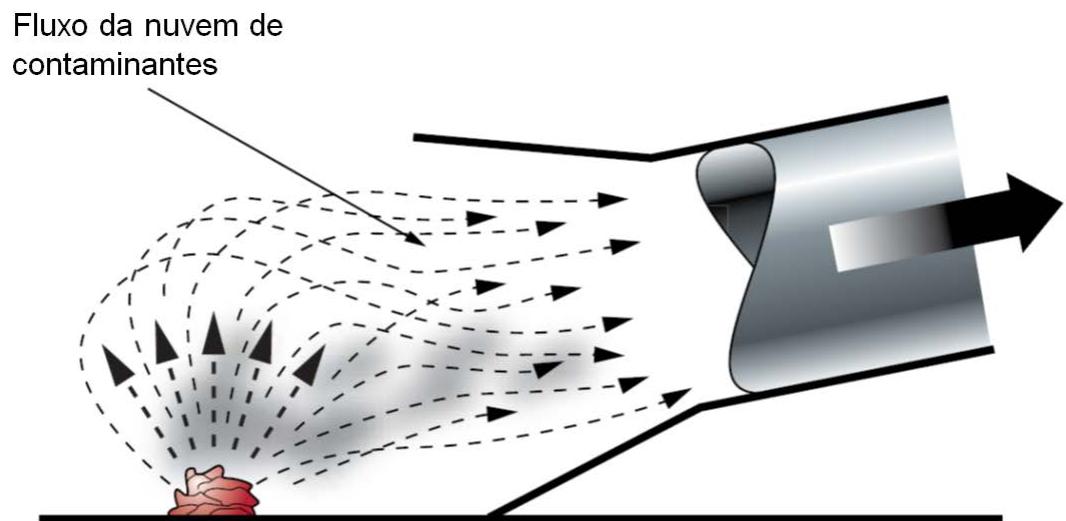
Fonte: Adaptado de HSE (2008).

Figura 12 – Exemplo de operação correta e incorreta com coleto receptor.



Fonte: Adaptado de HSE (2008).

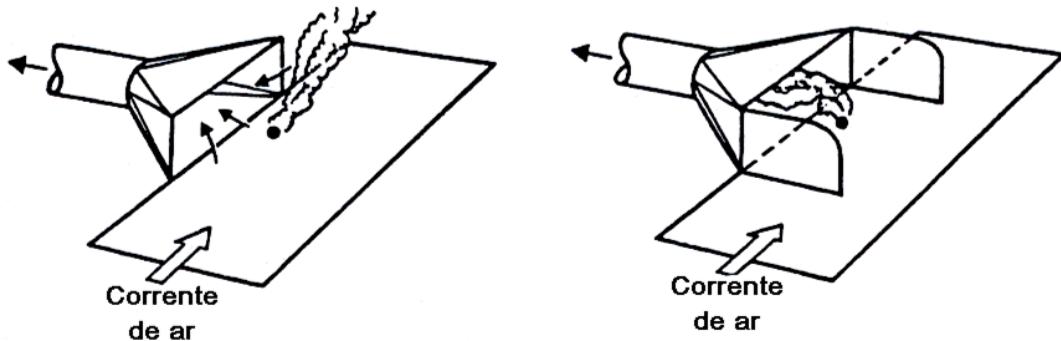
Figura 13 – Exemplo de captor externo.



Fonte: Adaptado de HSE (2008).

A Figura 14 ilustra o aumento da eficiência de um coletor externo devido à instalação de deflectores laterais.

Figura 14 – Exemplo do impacto da inclusão de placas defletoras laterais na eficiência do coletor.

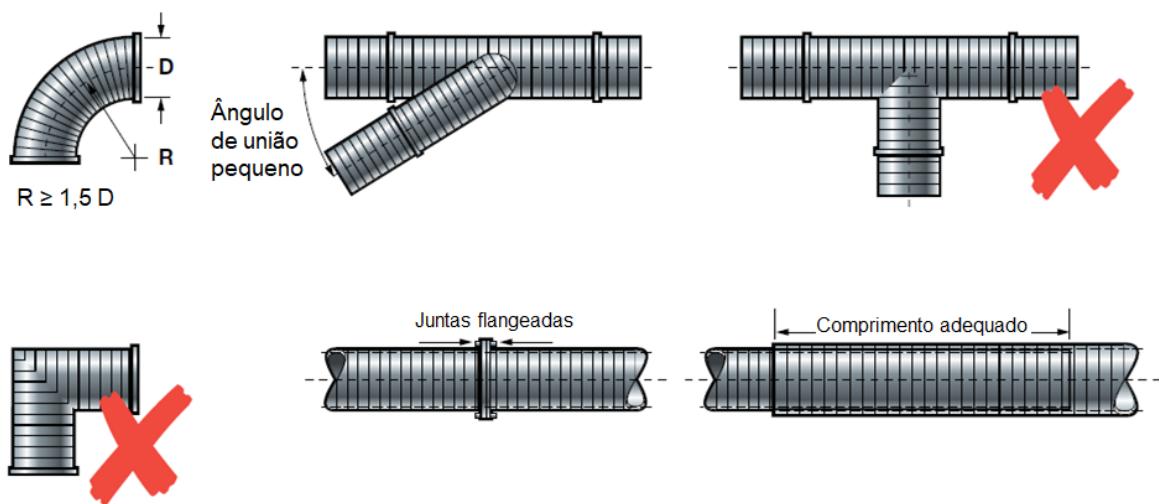


Fonte: Adaptado de INRS (1996) apud WHO (1999).

### 2.7.2. DUTO

Os dutos têm a função de transportar o ar, com os contaminantes capturados pelo coletor, até o ponto de descarga. Por isso é fundamental que a velocidade do ar em qualquer ponto do sistema seja suficiente para manter as partículas em suspensão. Entretanto, longos trechos horizontais, curvas, uniões, coletores, etc., geram uma perda de carga, exigindo maior capacidade dos ventiladores. Por isso deve-se garantir que todos esses elementos sejam projetados e instalados de forma a minimizar essa perda de carga. A Figura 15 apresenta os principais elementos de um sistema de dutos, assim como considerações para um projeto mais eficiente.

Figura 15 – Elementos que compõem o sistema de dutos: curvas, junções e uniões.



Fonte: Adaptado de HSE (2008).

A Figura 16 apresenta velocidade de ar recomendadas para o transporte de copeiras com diferentes composições.

Figura 16 – Velocidade de ar recomendada para o transporte de poeiras.

<b>Tipo de Contaminante</b>	<b>Velocidade no Duto (m/s)</b>
Poeira de baixa/média densidade (p.ex. serragem, poeira plástica)	15
Poeiras industriais típicas (p.ex. poeira de esmeril, asbesto, sílica)	20
Poeiras pesadas (p.ex. chumbo, poeiras de torneamento de metal, poeiras úmidas ou aquelas que tendem a aglomerar-se)	25

Fonte: Adaptado de WHO (1999).

### 2.7.3. FILTRO / COLETOR

Após a coleta dos contaminantes do ambiente de trabalho, é necessário limpar esse ar antes de devolve-lo ao meio ambiente. Além disso, as vezes se faz necessário recircular o material particulado, retornando-o ao circuito produtivo. Para isso, devem ser instalados coletores e/ou filtros. Geralmente esses equipamentos são instalados imediatamente antes do ventilador, protegendo este de desgaste acentuado (POCOVÍ, 1999).

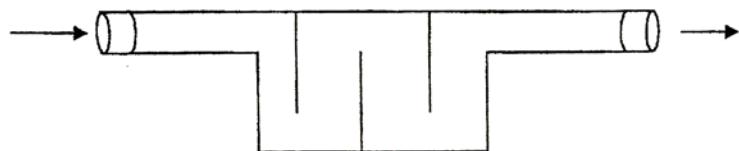
Normalmente, antes dos filtros são instalados coletores, que retiram parte dos contaminantes do ar, geralmente as partículas mais grossas. Dessa forma, pode-se projetar filtros menores e/ou aumentar a vida útil dos elementos filtrantes (POCOVÍ, 1999).

A seguir serão apresentados alguns exemplos de captadores e filtros utilizados para limpar o ar sujo com material particulado.

### 2.7.3.1. CÂMARAS DE SEDIMENTAÇÃO GRAVITACIONAL

Câmaras de sedimentação gravitacional são construídas de forma que o ar ao entrar tem sua velocidade reduzida de forma considerável, abaixo da velocidade mínima de transporte. Dessa forma, as partículas mais grossas sedimentam, limpando parcialmente o ar. A vantagem desse tipo de equipamento é que são relativamente baratos e de baixa manutenção. Alguns modelos, como o ilustrado na Figura 17, possuem defletores verticais, obrigando o ar a fazer curvas e criando superfícies de impacto, dessa forma aumentando um pouco a eficiência do coletor. Entretanto, devido à grande área necessária para a instalação desse tipo de equipamento e sua baixa eficiência operacional, não é muito utilizado em grandes instalações industriais.

Figura 17 – Caixa de sedimentação com defletores.



Fonte: Adaptado de POCOVÍ (1999).

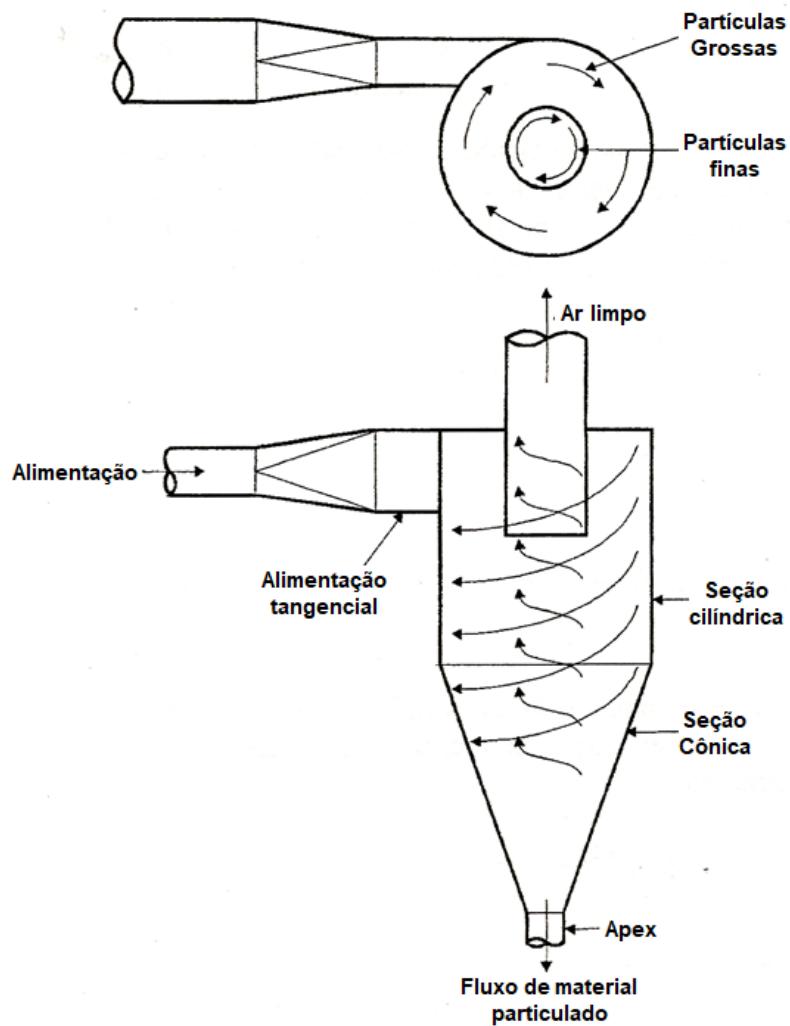
### 2.7.3.2. CICLONES

Os ciclones são os coletores mecânicos mais amplamente utilizados na indústria. Podem operar numa ampla faixa de pressão, temperatura e granulometria e podem ser usados para retirar gotículas líquidas presentes nos gases (WHO, 1999).

O ar com o material particulado é alimentado no ciclone de forma tangencial, na parte superior do mesmo, gerando um fluxo circular descendente. Devido à força centrípeta, as partículas com os maiores diâmetros se movimentam para a periferia do equipamento, forçando o ar e as partículas menores para o centro. Na seção cônica do ciclone, devido à diminuição do raio de curvatura e consequente aumento da velocidade de rotação, esse fenômeno se intensifica. Dessa forma, as partículas mais grossas não descarregados pela abertura na parte de baixo do ciclone, chamado de Apex. Já o ar e as partículas mais finas se dirigem para a região central, onde se forma

um fluxo circular ascendente, sendo descarregado pela abertura superior, chamada de *vortex* (POCOVÍ, 1999). A Figura 18 apresenta uma representação esquemática do funcionamento dos ciclones.

Figura 18 – Esquema de funcionamento dos ciclones.



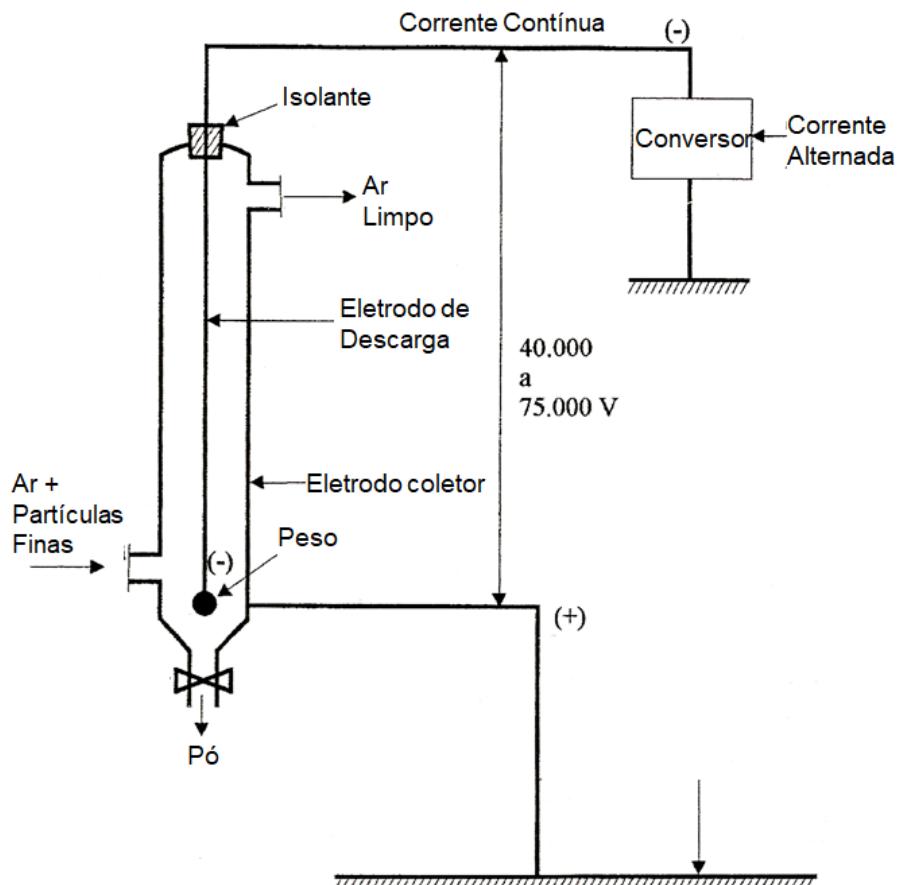
Fonte: Adaptado de POCOVÍ (1999).

### 2.7.3.3. PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS (ESPS)

Segundo WHO (1999) os precipitadores eletrostáticos são os métodos mais populares para a remoção eficiente de sólidos finos e líquidos das correntes de ar. Eles podem ter eficiências de coleta acima de 99%.

Funciona a partir da criação de um campo elétrico de elevado potencial entre os eletrodos de descarga e coletores, de polaridade oposta. O eletrodo de descarga tem seção transversal com área pequena, como um arame ou haste achatada, e o eletrodo de coleta tem grande área superficial, como uma placa ou a própria superfície do precipitador. O ar a ser purificado passa através desse campo elétrico. Ao atingir uma voltagem crítica, as moléculas do gás são ionizadas na superfície do eletrodo de descarga ou próximos a ela. Os íons de mesma polaridade que o eletrodo de descarga se unem às partículas de poeira neutras, que são então atraídas para a placa coletora. Ao entrarem em contato com a superfície de coleta, as partículas de poeira perdem suas cargas e então podem ser facilmente removidas por vibração, lavagem ou gravidade (POCOVÍ, 1999; WHO, 1999). A Figura 19 apresenta um exemplo de precipitador eletrostático.

Figura 19 – Precipitadores eletrostáticos (ESPs).



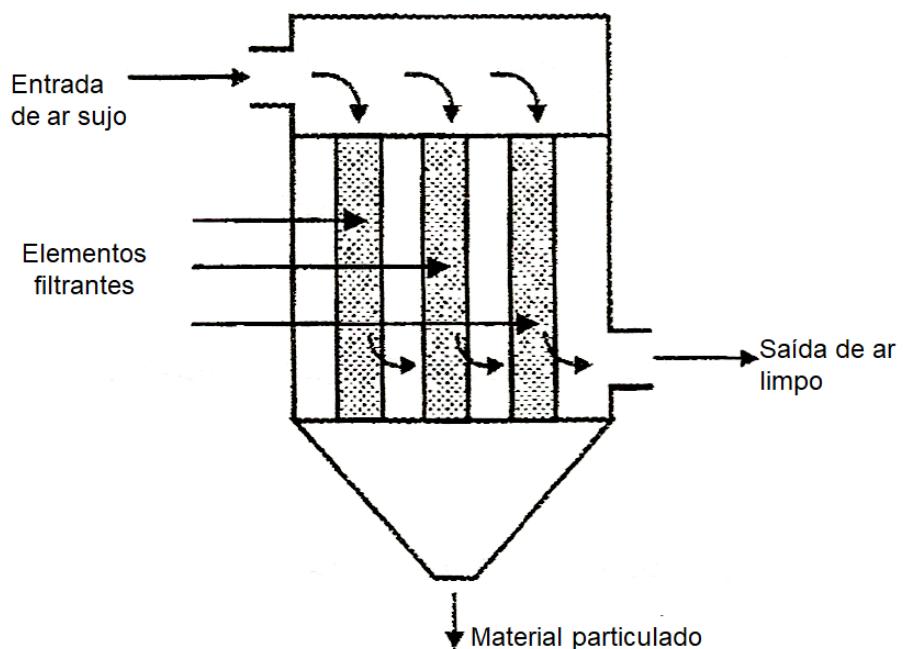
Fonte: Adaptado de POCOVÍ (1999).

#### 2.7.3.4. FILTRO DE MANGA

O filtro de manga é formado por elemento filtrante, tubular ou na forma de um envelope, de pano. As partículas sólidas são removidas por meio dos seguintes mecanismos de captura: interceptação, inércia, difusão e atração eletrostática. Após algum tempo de operação, forma-se uma camada de pó sobre o elemento filtrante, dificultando a passagem do ar e das partículas sólidas. Isso faz com que a eficiência do filtro aumente, mas aumenta também a perda de carga. Dessa forma, de tempos em tempos se faz necessário limpar esse filtro, retirando a camada de pó que se forma sobre ele (POCOVÍ, 1999; WHO, 1999).

Filtros de manga bem projetados e corretamente operados podem funcionar com eficiências maiores que 99%. A ineficiência aparente desse tipo de filtro se deve, geralmente, a tecidos danificados, selos defeituosos ou vazamentos na estrutura de sustentação (WHO, 1999). A Figura 20 ilustra o funcionamento de um filtro de manga.

Figura 20 – Filtro de manga.



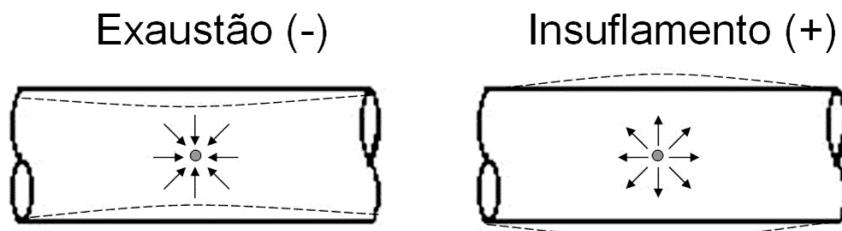
Fonte: Adaptado de POCOVÍ (1999).

#### 2.7.4. VENTILADOR

Os ventiladores são os equipamentos responsáveis pela movimentação do ar no sistema VLE, produzindo uma pressão negativa nos captores, e pressão positiva no ponto de descarga. São capazes de movimentar grande volume de ar com pressões relativamente baixas, geralmente menores que 1500 mm H<sub>2</sub>O (POCOVÍ, 1999).

Esses equipamentos devem estar localizados no final do sistema de ventilação, entre os captores e o ponto de descarga. Dessa forma, todo o sistema opera sob pressão negativa e, caso exista alguma falha na vedação do sistema, em vez do ar contaminado escapar para o ambiente de trabalho, ocorre o inverso (WHO, 1999). A Figura 21 ilustra esse fenômeno.

Figura 21 – Diferença de pressão antes e depois do ventilador.



Fonte: Adaptado de USP (2016b).

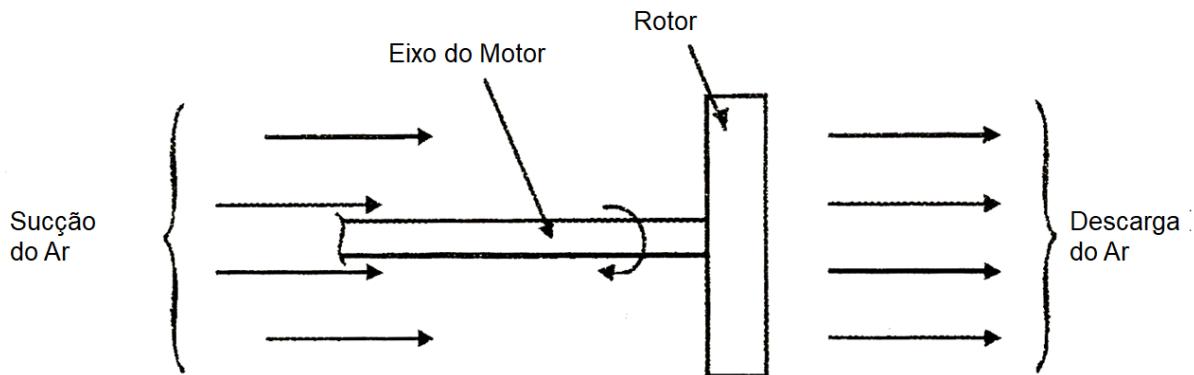
Existem basicamente dois tipos de ventiladores:

- Ventiladores de fluxo axial; e
- Ventiladores de fluxo tangencial, ou centrífugos.

Os ventiladores de fluxo axial (Figura 22) têm pouca aplicação em sistemas VLE, pois são capazes de produzir pressões estáticas muito pequenas (da ordem de 6 a 12 mm de H<sub>2</sub>O), apesar de conseguirem movimentar grandes volumes de ar. Por essa razão, sua principal aplicação industrial é na ventilação geral (POCOVÍ, 1999).

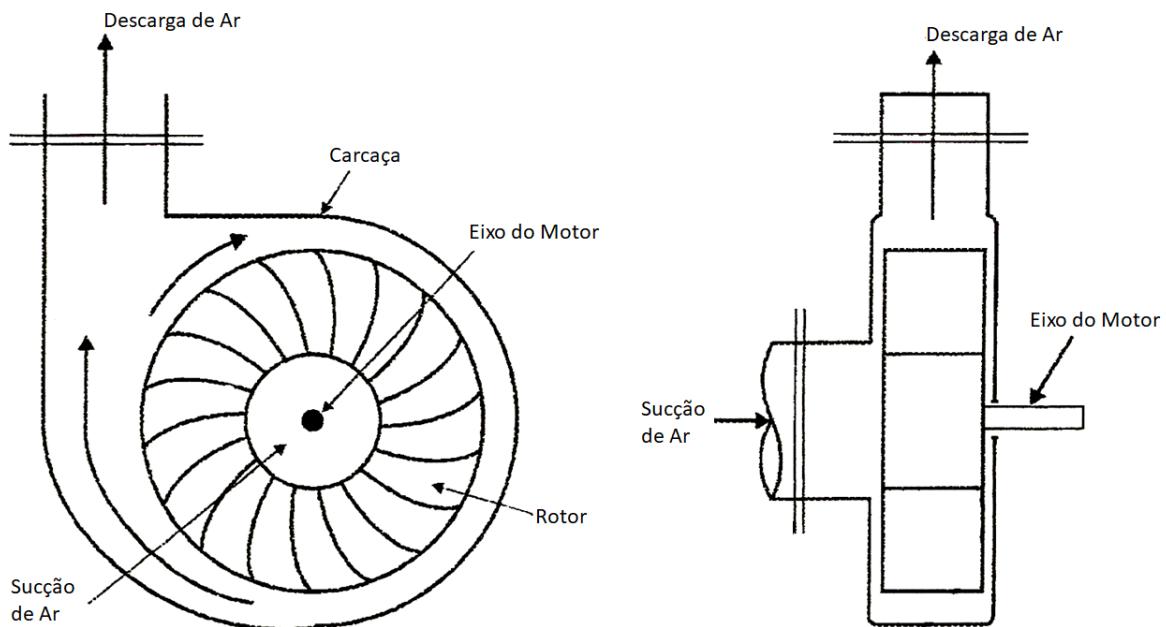
Os ventiladores centrífugos (Figura 23) são a principal escolha na hora de se projetar um sistema VLE, devido às pressões que consegue produzir (de até 1500 mm de H<sub>2</sub>O) (POCOVÍ, 1999).

Figura 22 – Esquema de um ventilador de fluxo axial.



Fonte: Adaptado de POCOVÍ (1999).

Figura 23 – Esquema de um ventilador centrífugo



Fonte: Adaptado de POCOVÍ (1999).

### 2.7.5. PONTO DE DESCARGA

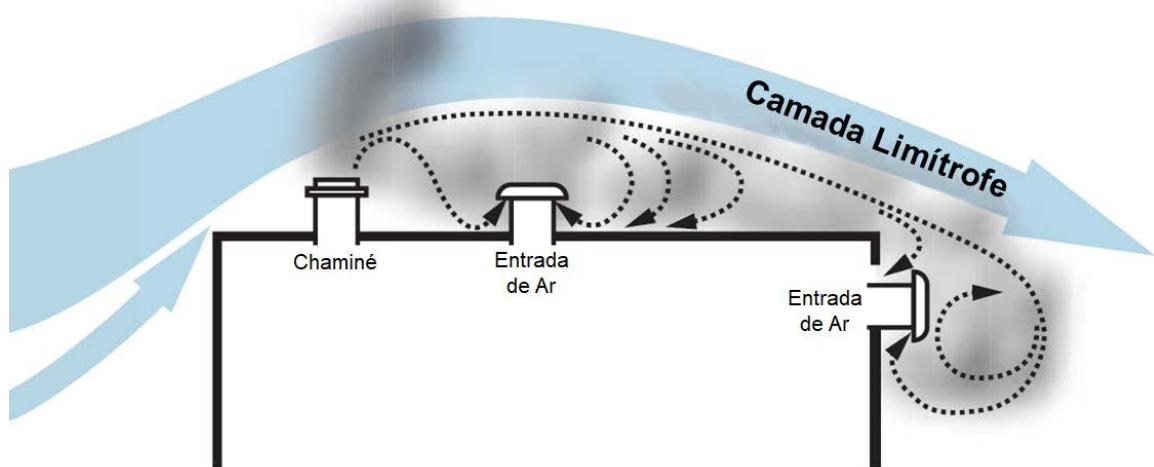
O ar extraído pelo sistema VLE deve ser descartado na atmosfera de forma que o mesmo não entre novamente na instalação (recirculação), ou em prédios vizinhos. O ar descartado, geralmente através de uma chaminé, deve sair com velocidade suficiente para que seja disperso na atmosfera. A chaminé deve ser alta o suficiente para descartar o ar acima da camada limítrofe, que envolve os prédios. Essa camada

é formada pelos ventos que, ao atingirem o prédio, criam uma região de turbulência (HSE, 2008).

O ar sai da chaminé e sobe, devido ao seu momento e flutuabilidade, até perder energia e esfriar até atingir a temperatura ambiente, sendo, então, disperso e carregado pelo vento (HSE, 2008).

Na Figura 24, pode-se observar a região de turbulência, dentro da camada limítrofe, assim como a recirculação do ar descartado devido a um projeto de chaminé ruim.

Figura 24 – Recirculação do ar devido à baixa altitude da chaminé.



Fonte: Adaptado de HSE (2008).

## 2.7.6. AR DE REPOSIÇÃO

Como o sistema VLE retira ar do ambiente, às vezes se faz necessário projetar um sistema de reposição desse ar, dependendo da vazão do sistema. Para não exaurir o ar do recinto de trabalho é necessário alimentar o ambiente com uma vazão igual ao que foi retirado. É importante se assegurar que o ponto de coleta de ar esteja longe de fontes poluidoras, garantindo, assim, a qualidade do ar. Pode-se resfriar esse ar e utilizá-lo para ajudar a controlar a temperatura do ambiente (WHO, 1999).

## 2.8. EPI

Os equipamentos de proteção respiratória (EPR) são uma classe de EPI destinados a proteger o usuário contra a inalação de contaminantes presentes no ar do ambiente de trabalho. Existem duas categorias principais de EPR (HSE, 2005):

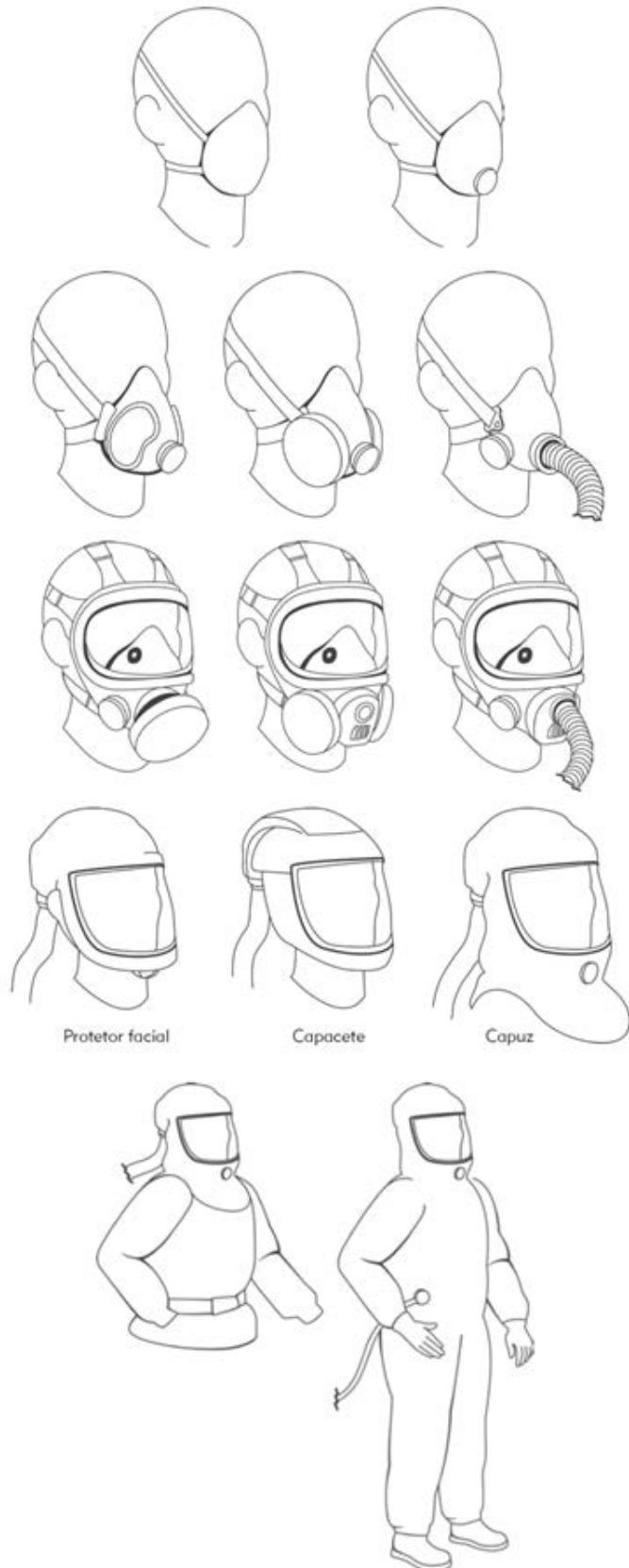
- Respiradores purificadores de ar – utilizam filtros para remover os contaminantes; não podem ser utilizados em atmosferas com menos de 18% de oxigênio, segundo a NR 6;
- Respiradores de adução de ar – necessita de uma fonte independente de ar respirável de boa qualidade.

Ambos os tipos de EPR estão disponíveis numa grande variedade de peças faciais. Entretanto, é importante observar algumas limitações importantes:

- Máscaras – são peças faciais que devem se ajustar firmemente ao rosto a fim de garantir a vedação, e proteção, adequada. Podem ser utilizadas em ambas as categorias de EPR.
- Capuzes, capacetes e roupas infláveis – não dependem de boa vedação para garantir a proteção adequada. Isso porque, devido ao volume de ar limpo sendo alimentado, cria-se uma pressão positiva dentro do respirador, impedindo que os contaminantes entrem no conjunto. Só podem ser usados com respirador purificadores de ar motorizados ou respiradores de adução de ar (HSE, 2005).

Na Figura 25 pode-se observar alguns exemplos de respiradores.

Figura 25 – Tipos de Equipamentos de Proteção Respiratória – EPR.



Fonte: Adaptado de Torloni at. al. (2016).

O respirador selecionado deve ter um Fator de Proteção Atribuído adequado à exposição, em cada ambiente de trabalho. Dividindo-se a concentração do contaminante do ar pelo TLV ou LT obtém-se o Fator de Proteção Requerido (FPR). O respirador selecionado deve possuir um Fator de Proteção Atribuído maior que o Fator de Proteção Requerido.

$$FPR = \frac{\text{Concentração do Contaminante}}{\text{Limite de tolerância ou TLV}}$$

A Figura 26, a seguir, apresenta os fatores de proteção atribuídos aos diferentes tipos de respiradores. Já a Figura 27 apresenta recomendações de EPR para sílica cristalina, em função de sua concentração no ar.

Figura 26 – Fatores de Proteção Atribuídos para EPR.

TIPO DE RESPIRADOR	TIPO DE COBERTURA DAS VIAS RESPIRATÓRIAS			
	PEÇA SEMIFACIAL (1)	PEÇA FACIAL INTEIRA		
PURIFICADOR DE AR DE ADUÇÃO DE AR: - MÁSCARA AUTÔNOMA (2) - LINHA DE AR COMPRIMIDO	10		100	
	10		100	
	10		100	
TIPO DE RESPIRADOR	TIPO DE COBERTURA DAS VIAS RESPIRATÓRIAS			
	PEÇA SEMIFACIAL	PEÇA FACIAL INTEIRA	CAPUZ CAPACETE	SEM VEDAÇÃO FACIAL
PURIFICADOR DE AR MOTORIZADO	50	1000 (3)	1000	25
DE ADUÇÃO DE AR: LINHA DE AR COMPRIDO - DE DEMANDA COM PRESSÃO POSITIVA	50	1000	-	-
- FLUXO CONTÍNUO	50	1000	1000	25
MÁSCARA AUTÔNOMA (CIRCUITO ABERTO OU FECHADO) - DE DEMANDA COM PRESSÃO POSITIVA	-	(4)	-	-

Fonte: Adaptado de BRASIL (1994).

Figura 27 – Recomendações de EPI para sílica cristalina.

CONCENTRAÇÃO AMBIENTAL	EQUIPAMENTO
Até 10 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça semifacial ou peça semifacial filtrante Filtros P1, P2 ou P#, de acordo com o diâmetro aerodinâmico das partículas
Até 50 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça facial inteira com filtro P2 ou P3 <sup>1</sup> Respirador motorizado com peça semifacial e filtro P2 Linha de ar fluxo contínuo e peça semifacial Linha de ar de demanda e peça semifacial com pressão positiva
Até 100 vezes o limite de tolerância	Respirador com peça facial inteira com filtro P2 ou P3 <sup>1</sup> Linha de ar de demanda com peça facial inteira Máscara autônoma de demanda
Até 1000 vezes o limite de tolerância	Respirador motorizado com peça facial inteira e filtro P3 Capuz ou capacete motorizado e filtro P3 Linha de ar de fluxo contínuo e peça facial inteira Linha de ar de demanda e peça facial inteira com pressão positiva Máscara autônoma de pressão positiva
Maior que 1000 vezes o limite de	Linha de ar de demanda e peça facial inteira com pressão positiva e cilindro de fuga Máscara autônoma de pressão positiva

Fonte: Adaptado de BRASIL (1994).

### 2.8.1. FILTROS PARA AERODISPERSÓIDES

Os filtros para aerodispersóide são os componentes do EPR responsáveis por efetivamente reter as partículas em suspensão no ar. São formados por camadas de fibras dispostas de modo não orientado, em quantidade suficiente para atingir a espessura e gramatura desejadas. Quanto mais finas forem as fibras, menores serão os vãos entre elas, favorecendo a captura das partículas, mas aumentando a resistência à respiração. O material utilizado na fabricação dos filtros recebe o nome genérico de “não-tecido” (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Uma concepção comum, mas errada, a respeito dos filtros é considerá-los como uma peneira. Se fosse dessa forma, para capturar as partículas mais finas, os poros deveriam ser tão pequenos que seria muito difícil de respirar, pois a resistência à passagem do ar seria muito grande (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Como o filtro é formado por fibras dispostas de forma aleatória, as partículas presentes no ar são obrigadas a percorrer um caminho longo e tortuoso, em comparação ao seu tamanho. Dessa forma, é baixa a probabilidade que alguma partícula atravesse o filtro sem entrar em contato com as fibras. Por isso um filtro consegue capturar partículas muito menores que a distância de suas fibras (TORLONI; VIEIRA, 2003).

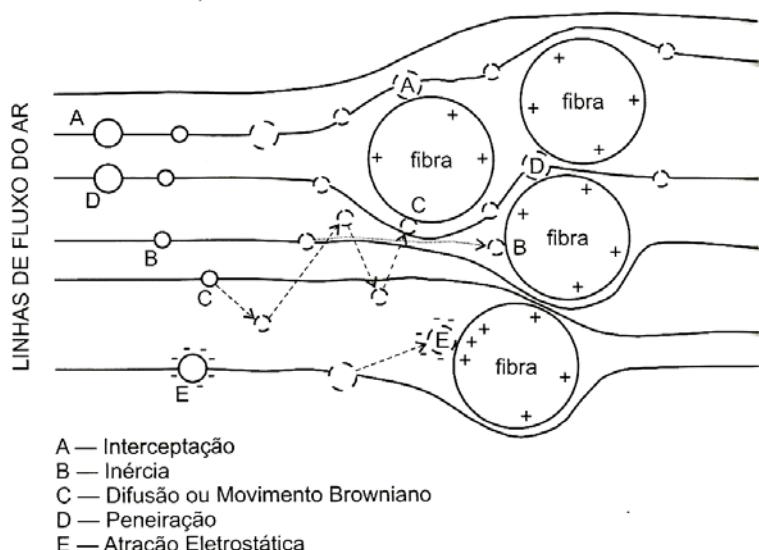
As partículas que entraram em contato com alguma fibra ficam retidas em sua superfície devido a forças de Van der Waals, elétricas ou de tensão superficial (partículas líquidas), sendo bastante difícil de removê-las.

As partículas, ao passar pelo filtro, são capturadas pelas fibras graças à ação de cerca de uma dezena de mecanismos agindo simultaneamente. Os principais mecanismos de captura de partículas são:

- Interceptação direta – quando a partícula segue uma linha de fluxo que a coloca em contato com a fibra;
- Inércia – partículas maiores e/ou mais densas tendem a permanecer em movimento retilíneo, por vezes afastando-se das linhas de fluxo e se chocando com as fibras;
- Difusão – devido ao movimento browniano, as partículas mais finas migram através das linhas de fluxo do ar, até tocarem em alguma fibra; e
- Atração eletrostática – ocorre quando as fibras e/ou as partículas estão electricamente carregadas surge uma eletrostática entre elas, fazendo com que as partículas entrem em contato com as fibras (TORLONI; VIEIRA, 2003).

A Figura 28, a seguir, ilustra os mecanismos de captura de partículas descritos a cima.

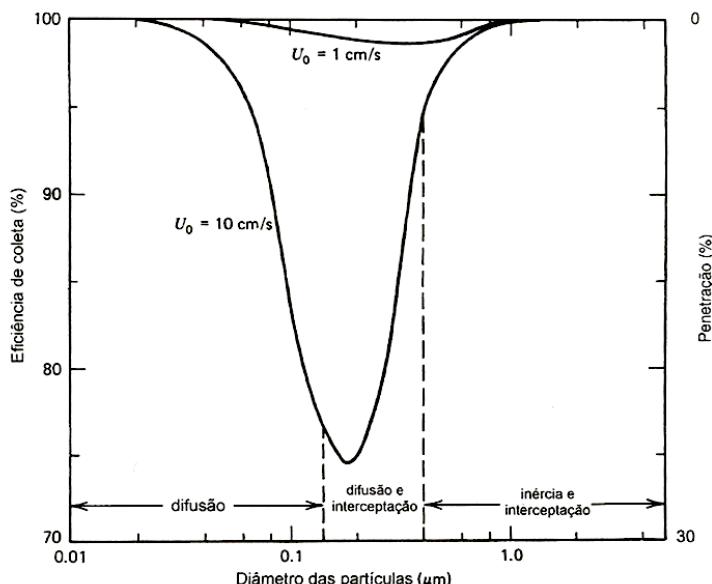
Figura 28 – Mecanismos de captura de partículas nas fibras de um filtro.



Fonte: Adaptado de Torloni e Vieira (2003).

Devido a ação dos diferentes mecanismos de captura em função do diâmetro aerodinâmico das partículas, a fração entre 0,3  $\mu\text{m}$  e 0,6  $\mu\text{m}$  é a mais difícil de ser capturada (menor eficiência do filtro), conforme pode ser observado na Figura 29. É por isso os testes realizados com os filtros utilizam partículas de 0,3  $\mu\text{m}$  (EUA) ou 0,6  $\mu\text{m}$  (Brasil e EU) (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Figura 29 – Variação da penetração da partículas em função de seu diâmetro e velocidade do ar.



Fonte: Adaptado de Torloni e Vieira (2003).

Os filtros para particulados cujo principal mecanismo de captura é a atração eletrostática, são chamados de filtros eletrostáticos. Quando esse mecanismo de captura não é importante, recebem o nome de filtros mecânicos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

## 2.9. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

### 2.9.1. NR 6 – EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

A NR 6 considera como Equipamento de Proteção Individual (EPI) todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho (BRASIL, 2015).

Segundo a NR 6, o equipamento de proteção individual, de fabricação nacional ou importado, só poderá ser posto à venda ou utilizado com a indicação do Certificado de Aprovação – CA, expedido pelo órgão nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 2015).

Essa NR ainda estabelece que a empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, nas seguintes circunstâncias (BRASIL, 2015):

- Sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais e do trabalho;
- Enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas;
- Para atender a situações de emergência.

Responsabilidades do empregador com relação ao EPI (BRASIL, 2015):

- Adquirir o adequado ao risco de cada atividade;
- Exigir seu uso;
- Fornecer ao trabalhador somente o aprovado pelo órgão nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho;
- Orientar e treinar o trabalhador sobre o uso adequado, guarda e conservação;
- Substituir imediatamente, quando danificado ou extraviado;
- Responsabilizar-se pela higienização e manutenção periódica;
- Comunicar ao MTE qualquer irregularidade observada;
- Registrar o seu fornecimento ao trabalhador, podendo ser adotados livros, fichas ou sistema eletrônico.

Responsabilidades do trabalhador com relação ao EPI (BRASIL, 2015):

- Usar, utilizando-o apenas para a finalidade a que se destina;
- Responsabilizar-se pela guarda e conservação;
- Comunicar ao empregador qualquer alteração que o torne impróprio para uso;
- Cumprir as determinações do empregador sobre o uso adequado.

## 2.9.2. NR 9 – PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS

A NR 9 estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA, visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e consequente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais (BRASIL, 2017).

Esta NR estabelece os parâmetros mínimos e diretrizes gerais a serem observados na execução do PPRA, podendo os mesmos ser ampliados mediante negociação coletiva de trabalho (BRASIL, 2017).

Para efeito desta NR, consideram-se riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador (BRASIL, 2017).

Consideram-se agentes físicos as diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores, tais como: ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, bem como o infrassom e o ultrassom (BRASIL, 2017).

Consideram-se agentes químicos as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão. Consideram-se agentes biológicos as bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros (BRASIL, 2017).

O Programa de Prevenção de Riscos Ambientais deverá conter, no mínimo, a seguinte estrutura (BRASIL, 2017):

- a) planejamento anual com estabelecimento de metas, prioridades e cronograma;

- b) estratégia e metodologia de ação;
- c) forma do registro, manutenção e divulgação dos dados;
- d) periodicidade e forma de avaliação do desenvolvimento do PPRA.

Deverá ser efetuada, sempre que necessário e pelo menos uma vez ao ano, uma análise global do PPRA para avaliação do seu desenvolvimento e realização dos ajustes necessários e estabelecimento de novas metas e prioridades (BRASIL, 2017).

### **2.9.3. NR 15 – ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES**

A NR 15 define atividade e operações insalubres como aquelas realizadas acima dos limites de tolerância previstos em seus anexos. Define, também, limites de tolerância como “a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral” (BRASIL, 2014).

O anexo relevante para o presente trabalho é o número 12 “Limites de Tolerância para Poeiras Minerais”, onde são estabelecidos os limites de tolerância para asbestos, manganês e seus compostos e, principalmente, sílica livre cristaliza (BRASIL, 2014), o contaminante mais comumente encontrado na indústria da mineração.

#### **2.9.3.1. SÍLICA LIVRE CRISTALIZADA**

O trecho a seguir foi adaptado do anexo 12 da NR 15 (BRASIL, 2014).

O limite de tolerância, expresso em milhões de partículas por decímetro cúbico (mppdc), é dado pela seguinte fórmula (BRASIL, 2014):

$$LT = \frac{8,5}{\%quartzo + 10} \text{ [mppdc]}$$

Sendo:

- L.T. = Limite de Tolerância (mppdc);

- % quartzo = % de sílica livre cristalizada.

Esta fórmula é válida para amostras tomadas com impactador (*impinger*) no nível da zona respiratória e contadas pela técnica de campo claro. A percentagem de quartzo é a quantidade determinada através de amostras em suspensão aérea (BRASIL, 2014).

O limite de tolerância para poeira respirável, expresso em mg/m<sup>3</sup>, é dado pela seguinte fórmula (BRASIL, 2014):

$$LT = \frac{8}{\%quartzo + 2} [mg/m^3]$$

Sendo:

- LT = Limite de Tolerância (mg/m<sup>3</sup>);
- % quartzo = % de sílica livre cristalizada.

Tanto a concentração como a percentagem do quartzo, para a aplicação deste limite, devem ser determinadas a partir da porção que passa por um seletor com as características do Quadro nº 1 do anexo 12 da NR 15, apresentado na Figura 30 (BRASIL, 2014).

Figura 30 – Quadro nº 1 – NR 15 – Anexo 12.

<b>Diâmetro Aerodinâmico (um) (esfera de densidade unitária)</b>	<b>% de passagem pelo seletor</b>
menor ou igual a 2	90
2,5	75
3,5	50
5,0	25
10,0	0 (zero)

Fonte: Adaptado de BRASIL (2014).

O limite de tolerância para poeira total (respirável e não-respirável), expresso em mg/m<sup>3</sup>, é dado pela seguinte fórmula (BRASIL, 2014):

$$LT = \frac{24}{\%quartzo + 3} \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

Sendo:

- LT = Limite de Tolerância (mg/m<sup>3</sup>);
- % quartzo = % de sílica livre cristalizada.

Os limites de tolerância fixados no item 5 são válidos para jornadas de trabalho de até 48 (quarenta e oito) horas por semana, inclusive (BRASIL, 2014).

Para jornadas de trabalho que excedem a 48 (quarenta e oito) horas semanais, os limites deverão ser deduzidos, sendo estes valores fixados pela autoridade competente (BRASIL, 2014).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E RESÍDUOS INDUSTRIAIS (LTM)**

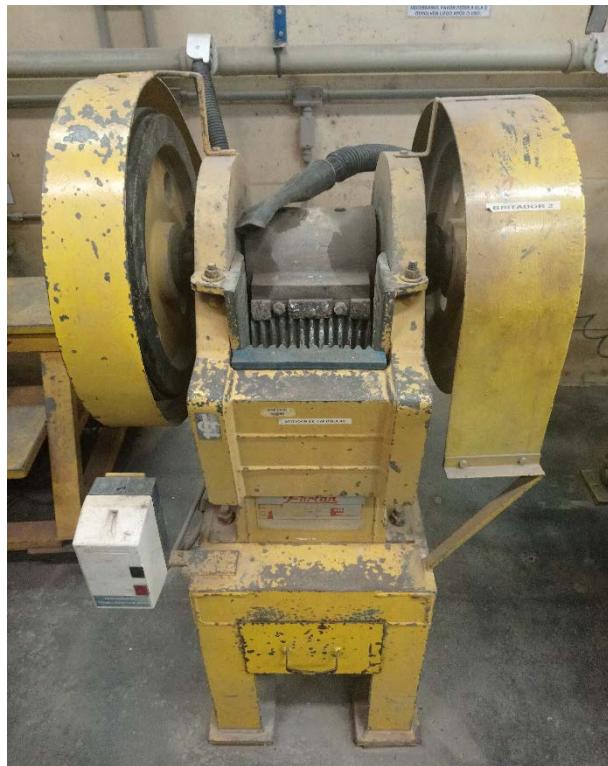
O LTM é um laboratório multiusuário, voltado ao desenvolvimento de pesquisas que levem ao progresso do conhecimento científico relacionado ao Tratamento de Minérios e de Resíduos Industriais; e ao desenvolvimento de técnicas para melhor ajudar as pesquisas dos alunos e professores na sua aplicação da engenharia mineral, de modo que os resultados obtidos possam contribuir com a viabilização econômica de recursos minerais e de rejeitos industriais.

Recebe usuários (alunos e pesquisadores) de diversas unidades da Universidade. Além desses usuários esporádicos, possui nove técnicos que trabalham lá em tempo integral.

Possui equipamentos para realizar testes de cominuição (britagem e moagem), peneiramento, e concentração (como separadores magnéticos, eletrostáticos, células de flotação), entre outros. Alguns desses equipamentos trabalham com material em polpa, não apresentando condições perigosas relacionadas a poeiras. Entretanto, outros equipamentos, principalmente os britadores, moinho e peneiras, são grandes fontes de poeira.

Da Figura 31 à Figura 33 são apresentados alguns desses equipamentos que são fontes de poeira.

Figura 31 – Britador de mandíbulas.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 32 – Moinho de discos.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 33 – Peneirador vibratório.



Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2. MÉTODO

Para se verificar a situação atual, referente ao controle de poeira, no LTM, foi feita uma visita técnica, em janeiro de 2018, onde se realizou registro fotográfico das instalações e equipamentos, seguido de entrevista com funcionários do laboratório.

Além disso, foram levantadas informações de alguns equipamentos no site dos fabricantes.

A norma NR6 foi consultada a fim de verificar a situação no LTM com relação aos EPIs utilizados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CONTROLE DE POEIRA NO LTM

Em 2016 foi instalada um sistema VLE adaptado para tentar amenizar o problema de emissão de poeira na sala de preparação e estocagem de minérios, onde estão localizados os principais equipamentos capazes de liberar poeira para o ambiente.

Utilizou-se um grande aspirador de pó como ventilador, um ciclone para materiais particulados finos, tubo PVC como duto principal, mangueira do próprio aspirador de pó como duto secundário (ligando o duto principal ao captor) e o bocal do próprio aspirador como coletor.

A Figura 34 ilustra o sistema VLE instalado na sala de preparação de amostras do LTM. Nela estão destacados os principais elementos de tal sistema.

Figura 34 – Sistema VLE do LTM.



Fonte: Arquivo pessoal.

O movimentador de ar é um aspirador de pó RIDGID, modelo WD0655BR, com filtro para finos, ilustrados na Figura 35 e na Figura 36, respectivamente. Com potência de 2,5 hp, gera 96 dB(A) de ruído (RIDGID, 2016).

Figura 35 – Aspirador de pó RIDGID – Modelo WD0655BR.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 36 – Detalhe do filtro.



Fonte: Arquivo pessoal.

O ciclone, modelo SN50T3, apresentado na Figura 37, precisa de um movimentador de ar com potência mínima de 1200 W (1,6 hp). O material grosso, encaminhado para o *underflow* do ciclone, é armazenado em um tambor de plástico, e deve ser esvaziado periodicamente. O ar, juntamente com o material mais fino, encaminhados para o *overflow* do ciclone, passam pelo filtro do aspirador de pó. O ar purificado é então descartado ao ambiente externo.

Figura 37 – Ciclone para poeira – Modelo SN50T3.



Fonte: Arquivo pessoal.

O captor utilizado é próprio bocal do aspirador de pó RIDGID, ligado à mangueira original. Na parede, atrás dos equipamentos, passa o duto condutor principal, ligado à alimentação do ciclone. Nesse duto, atrás de cada britador, existem conexões onde se deve acoplar a mangueira com o coletor. A abertura do coletor é de 4,0 cm x 2,3 cm. A Figura 38 e a Figura 39 apresentam o coletor e a conexão com o duto principal, respectivamente.

Figura 38 – Captor.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 39 – Sequência de Conexão da Mangueira do Coletor.



Fonte: Arquivo pessoal.

#### 4.2. Sistema VLE

O sistema VLE do LTM é composto de 4 elementos, quais sejam, aspirador de pó (movimentador de ar / filtro), ciclone (coletor), duto principal e mangueira com bocal (captor).

O aspirador de pó RIDGID, utilizado como movimentador de ar, tem a vantagem de poder ser instalado filtro para particulado finos, melhorando a qualidade do ar descartado ao lado do prédio. Entretanto, deve-se medir a vazão de ar no captor, em todos os pontos de conexão com o duto principal (Figura 40), e verificar se ela é suficiente para atrair as partículas de poeira, antes que elas se espalhem pelo ambiente de trabalho.

Figura 40 – Pontos de conexão com o duto principal.



Fonte: Arquivo pessoal.

Caso o aspirador de pó RIGID não produza a pressão negativa requerida nos pontos de captura da poeira, será necessário substituí-lo. Todavia, caso isso aconteça, deve-se avaliar a necessidade de se instalar um filtro para a retenção das partículas finas.

O ciclone utilizado é adequado para esse tipo de operação. No entanto, deve-se avaliar se o mesmo está trabalhando satisfatoriamente. Segundo o fabricante, esse ciclone precisa de um movimentador de 750 W (1,6 hp), sendo que o aspirador de pó

RIGID tem 1.860 W (2,5 hp). Portanto, o ciclone foi instalado de forma correta. Mesmo assim, é necessário medir a pressão na alimentação do ciclone e caracterizar o material retido no tambor (partículas grossas) e no filtro (partículas finas) para podermos afirmar que o ciclone está trabalhando de forma correta.

O duto principal, composto por um cano de PVC de 100 mm de diâmetro, com uma única seção reta, onde existem quatro conectores. Esses possuem anel de vedação de borracha, como pode ser observado na Figura 41, e devem permanecer fechados quando não estão em uso. Entretanto, é necessário verificar se esse anel e o peso da tampa são suficientes para garantir a vedação inicial mínima do sistema, e se, junto com a pressão negativa fornecida pelo aspirador de pó, garantem que o único ponto de entrada de ar do sistema seja o captor.

Figura 41 – Detalhe do ponto de conexão com o duto principal.



Fonte: Arquivo pessoal.

A mangueira com bocal utilizada como captor tem a grande vantagem de ser móvel, permitindo, dessa forma, ser utilizado em diversos equipamentos. Como existe apenas um captor funcionando em qualquer momento, outra vantagem desse sistema é necessitar de um movimentador de ar muito menor.

Entretanto, o ponto mais crítico do sistema VLE do LTM é o captor propriamente dito que, além de ser pequeno, não possui abas laterais nem ponto de fixação nos equipamentos. O fato de não possuir abas laterais implica em menor eficiência na extração da poeira do ar. Mas, a ineficiência gerada por não haver ponto de fixação apropriado para o coletor nos diversos equipamentos é muito maior. Além do mais, a ausência de ponto de fixação dificulta bastante a operação dos equipamentos,

desencorajando os trabalhadores de usar o sistema VLE. Pode tonar a própria mangueira do coletor em uma nova condição perigosa, uma vez que todos esses equipamentos possuem partes móveis.

Da Figura 42 à Figura 44, são apresentados exemplos da utilização do coletor adaptado em diferentes equipamentos. Geralmente se faz necessária a ajuda de um segundo funcionário para segurar o coletor em posição.

Figura 42 – Detalhe da colocação do captor no britador de mandíbulas.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 43 – Detalhe da colocação do captor no britador de rolos.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 44 – Detalhe da colocação do captor no moinho de discos.



Fonte: Arquivo pessoal.

#### 4.3. EQUIPAMENTOS NÃO ATENDIDOS PELO VLE

O atual sistema VLE instalado do LTM atende apenas aos britadores e moinhos de uso mais frequente. Entretanto, existem outros britadores (Figura 45) que, apesar de

serem maiores e por isso menos utilizados, necessitam de um mecanismo de controle de poeira.

Figura 45 – Britadores sem sistema VLE.



Fonte: Arquivo pessoal.

Por estarem do outro lado da sala de preparação, não podem ser ligados ao atual sistema de ventilação. Por isso, recomenda-se a instalação de novo sistema VLE, similar ao existente, para os outros britadores.

Além disso, os peneiradores vibratórios, utilizados para a classificação granulométrica de grande volume de material, não possuem nenhum mecanismo de controle de poeiras, como pode ser observado na Figura 46.

Figura 46 – Peneirador vibratório sem sistema VLE.

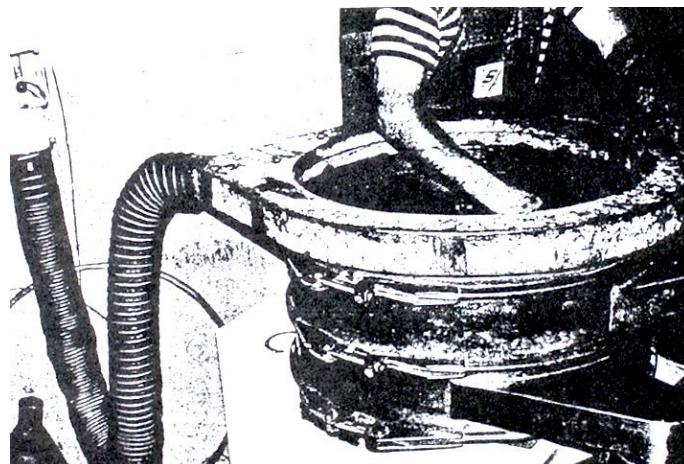


Fonte: Arquivo pessoal.

Por serem responsáveis, quando em uso, pela suspensão de grande quantidade de poeira e serem utilizados frequentemente, é recomendável que alguma medida de controle de engenharia, como um sistema VLE, seja instalada.

Recomenda-se estudar a viabilidade de adaptar o sistema VLE já existente de forma a atender à peneira. Entretanto, devido às características de operação do equipamento, atenção especial deve ser dada ao captor, que deve permitir livre acesso às peneiras e, ao mesmo tempo, garantir extração uniforme da poeira. A Figura 47 traz um exemplo de um captor para peneiras.

Figura 47 – Exemplo de captor para peneira.



Fonte: Adaptado de WHO (WHO, 1999).

Outra possibilidade que deve ser considerada é a troca do sistema VLE existente por outro de maior capacidade, que atenda a todos os britadores e aos peneiradores.

#### 4.4. OUTRAS OPERAÇÕES SUJEITAS À LIBERAÇÃO DE POEIRA

Frequentemente são realizadas outras atividades que expõe os trabalhadores à poeira, mas, devido à sua natureza e/ou frequência, não é viável técnica e/ou economicamente a instalação de sistema VLE. Como exemplo desse tipo de atividade podemos citar o manuseio de amostra de minério e a construção de pilha alongadas com o intuito de homogeneizar e/ou quartear o material. Um exemplo dessa última pode ser observado na Figura 48.

Figura 48 – Pilha Alongada.



Fonte: Arquivo pessoal.

Nesse caso, recomenda-se a utilização de máscara semi-facial com filtro P1, P2 ou P3, dependendo da atividade; ou peça semi-facial filtrante PFF1, PFF2 ou PFF3, também dependendo da atividade.

#### 4.5. EPI

Observou-se que os técnicos do laboratório estavam utilizando corretamente os EPIs necessários para evitar a inalação de poeiras. Além disso, um usuário esporádico, presente no momento da visita, também utilizava máscara descartável do tipo PFF1, sendo esta adequada à atividade.

As máscaras utilizadas pelos técnicos entrevistados são do tipo máscara semifacial, da 3M, modelo 6200, com filtro P2, conforme ilustra Figura 49. O referido EPI apresenta CA (4115) válido até 25/05/2020 (BRASIL, 2018).

Figura 49 – Máscara Semifacial utilizada no LTM – 3M 6200.



Fonte: Arquivo pessoal.

Já a máscara disponível aos outros usuários, do fabricante Maskface, do tipo peça semifacial filtrante, PFF-1, conforme ilustra a Figura 50, apresenta CA 1(1187) vencido em 13/07/2017 (BRASIL, 2018), sendo necessária sua substituição por equipamento com CA válido.

Figura 50 – Máscara Semifacial Filtrante utilizada no LTM – PFF1.



Fonte: Arquivo pessoal.

#### 4.6. OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Outro ponto importante, é a necessidade da criação/manutenção de um programa de treinamento periódico dos funcionários, conscientizando-os das condições perigosas e doenças ocupacionais a que estão expostos, sobre a correta utilização do sistema VLE, sobre correta utilização dos EPIs e a importância de armazenar/higienizar corretamente os EPIs.

Além disso, devido à natureza das atividades desenvolvidas no LTM, os funcionários devem estar preparados para instruir e fiscalizar os usuários eventuais sobre a correta utilização dos EPIs e informá-los sobre todas as condições perigosas que eles podem se expor ao realizar determinada atividade.

A limpeza do local de trabalho é outra ação importante no controle de poeiras, evitando que as mesmas acumulem sobre as superfícies e possam ser postas em suspensão no ar novamente. Essa atividade tem sido feita corretamente no LTM. Cada funcionário é responsável por, semanalmente, limpar certas bancadas e equipamentos. A equipe de limpeza lava todo o laboratório de uma a duas vezes por semana. Dessa forma, mesmo manuseando constantemente e realizando diversos ensaios com amostras de minério, o LTM apresenta-se relativamente limpo.

Para a escolha correta do respiradores, sugere-se consultar a obra “Programa de Proteção Respiratória: Recomendações, seleção e uso de respiradores” (TORLONI et al., 2016), disponível gratuitamente *webpage* da FUNDACENTRO.

## 5. CONCLUSÕES

O LTM se apresenta em boas condições de limpeza, levando em consideração as atividades lá realizadas, e os materiais utilizados. A política de setorizar a limpeza dos equipamentos e bancadas, sendo cada funcionário responsável por determinado setor, tem funcionado e deve ser mantida.

A instalação do sistema VLE existente no LTM, apesar de ter sido um importante passo na direção correta, parece não controlar adequadamente a emissão de poeira nos equipamentos onde está instalado. Além disso, existem diversos equipamentos que produzem poeira e não são atendidos pelo atual sistema VLE.

Dessa forma, se faz necessário a adequação/ampliação do sistema VLE existentes, ou a substituição do esmo por sistema de maior capacidade que atenda a todos os equipamentos.

Apesar dos trabalhadores do LTM utilizarem os EPIs adequados às atividades, com os CAs válidos, os EPIs disponíveis para os outros usuários, apesar de serem adequados, estão com CA vencido, sendo necessária a sua substituição.

Além disso, é necessário realizar treinamento periódico para lembrar os técnicos da importância e correta utilização dos EPIs, assim como prepara-los para instruir e fiscalizar os usuários esporádicos.

Portanto, pode-se dizer que o objetivo de verificar as medidas de controle referentes ao controle de poeiras existentes no LTM foi atingido.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 18801 - Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho.** Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2011. 23 p.
- BRASIL. Instrução Normativa SSST/MTB nº 1, de 11 de abril de 1994.** Brasil: Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho, 1994. 4 p.
- BRASIL. Doenças Respiratórias Crônicas. Journal of Chemical Information and Modeling,** v. 53, n. 9, p. 161, 2010.
- BRASIL. NR 15 - Atividades e Operações Insalubres.** Brasil: Ministério do Trabalho, 2014. 82 p.
- BRASIL. NR 6 - Equipamento de Proteção Individual (EPI).** Brasil: Ministério do Trabalho, 2015. 7 p.
- BRASIL. NR 9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.** Brasil: Ministério do Trabalho, 2017. 13 p.
- BRASIL. CAEPI - Certificado de Aprovação de Equipamento de Proteção Individual.** Disponível em: <<http://caepi.mte.gov.br/internet/ConsultaCAInternet.aspx>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- EUA. Hierarchy of Controls.** Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/>>. Acesso em: 25 jan. 2018.
- HSE. Respiratory protective equipment at work: A practical guide.** England: Health and Safety Executive, 2005. 66 p.
- HSE. Controlling airborne contaminants at work.** Englannd: Health and Safety Executive - HSE, 2008. 109 p.
- POCOVÍ, R. E. Ventilacion Industrial: Descripción y diseño de los sistemas de ventilación industrial.** Salta: Universidade Nacional de Salta, 1999. 500 p.
- RIDGID. Aspiradores WD0655BR | WD0656BR.** Disponível em: <<https://www.portalridgid.com.br/aspiradores-wd0655br-wd0656br>>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- TORLONI, M. et al. Programa de Proteção Respiratória: Recomendações, seleção e uso de respiradores.** Brasil: FUNDACENTRO, 2016. 210 p.
- TORLONI, M.; VIEIRA, A. V. Manual de Proteção Respiratória.** São Paulo: ABHO, 2003. 518 p.
- USP, E. P. Apostila STR-101 - Introdução à Engenharia do Trabalho.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2016a. 173 p.
- USP, E. P. Apostila STR-302 - Higiene do Trabalho - Parte C.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2016b. 324 p.
- WHO. Hazard prevention and control in the work environment: airborne dust.** Geneva: World Health Organization, 1999. 96 p.

WHO. **The Global Occupational Health Network: Elimination of silicosis.** Geneva:, World Health Organization, 2007. 18 p.