



Universidade Federal do Pará
Campus de Marabá
Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente

Ariadne de Queiroz Lima

ABORDAGEM DA POLUIÇÃO DO AR NA MINERAÇÃO: IMPACTOS, FORMAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE

Marabá
2009

Ariadne de Queiroz Lima

ABORDAGEM DA POLUIÇÃO DO AR NA MINERAÇÃO: IMPACTOS, FORMAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Orientador: M.Sc. Alexandre J. Buriel de Macêdo.

Marabá
2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca II do CAMAR/UFPA, Marabá, PA

Lima, Ariadne de Queiroz

Abordagem da poluição do ar na mineração: impactos, formas de monitoramento e controle / Ariadne de Queiroz Lima; orientador, Alexandre J. Buril de Macêdo. — 2009.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, 2009.

1. Indústria mineral - aspectos ambientais. 2. Poeira - Medição. 3. Controle de poeira. 4. Poluição - Equipamentos de controle. I. Macêdo, Alexandre J. Buril de, orient. II. Título.

CDD: 21. ed.: 363.731

Ariadne de Queiroz Lima

ABORDAGEM DA POLUIÇÃO DO AR NA MINERAÇÃO: IMPACTOS, FORMAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Orientador: M.Sc. Alexandre J. Buril de Macêdo.

Data de Aprovação: 02/09/2009

Banca Examinadora:

_____ - Orientador

Alexandre J. Buril de Macêdo.

Prof. M.Sc. da Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará

Roseane de Lima Silva

Prof^ª. Dr^ª. da Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará

Sílvio Bispo do Vale

Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará

Marabá
2009

*Aos meus queridos pais
Ley e Darcy.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, criador e mantedor de todas as coisas, pelo discernimento e inspiração.

A minha família, meus pais Darcy e Ley, pelo apoio dado durante todo o trabalho e durante toda a minha vida acadêmica.

Ao meu companheiro Arsênio Macêdo, pela paciência e compreensão nas horas difíceis.

Ao meu orientador Prof. M.Sc. Alexandre Buril, pela valiosa orientação e direcionamento deste trabalho.

Aos participantes da banca examinadora por terem aceitado o convite.

A VALE S/A e seus funcionários por ter proporcionado informações e arquivos importantes para o desenvolvimento do trabalho.

A todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

“A responsabilidade social e a preservação ambiental significa um compromisso com a vida.”

João Bosco da Silva

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE FOTOS	13
LISTAS DE ABREVIações E SIGLAS	14
LISTAS DE SÍMBOLOS	15
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 PROPOSTAS DO TRABALHO.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2. MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE NO BRASIL	18
2.1 MINERAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL.....	19
3. A POLUIÇÃO DO AR PROVOCADA PELA MINERAÇÃO	21
3.1 TIPOS DE PÓ.....	22
3.1.1 Pó respirável	23
3.1.2 Pó irrespirável	24
3.1.3 Pó total	24
3.2 IMPACTOS DA EMISSÃO DE POEIRA À SAÚDE.....	24
3.2.1 Reações dos pulmões ao pó	25
4. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR ATMOSFÉRICO	28
4.1 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS USUAIS PARA A DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA.....	32
4.1.1 Material particulado sedimentável (poeira sedimentável)	33
4.1.2 Material particulado em suspensão (poeira em suspensão)	33
5. FORMAS DE CONTROLE DE POEIRA NA MINERAÇÃO	37
6. SELEÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE POEIRA	39
6.1 SISTEMAS COLETORES DE PÓ.....	40
6.2 SISTEMAS DE SUPRESSÃO DE POEIRA	45
6.3 SISTEMAS DE ABATIMENTO DE PÓ.....	46

7. CONTROLE DE POEIRAS	49
7.1 EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS COLETORES DE PÓ	49
7.1.1 Ciclone	49
7.1.2 Filtro de Manga	51
7.2 EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS DE SUPRESSÃO DE PÓ	60
7.2.1 FOGGER	61
7.2.2 Outros equipamentos	63
7.3 EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS DE ABATIMENTO DE PÓ	67
7.3.1 Lavadores de gases ou Torres lavadoras	67
7.3.2 Bicos atomizadores para abatimento de pó	69
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

RESUMO

A emissão de poeira gerada pelo processo produtivo nas minas coage a proteção à saúde dos trabalhadores e a defesa do meio ambiente. Neste trabalho foram abordadas questões relacionadas com a poluição atmosférica provocada pela mineração: as formas de controle de poeira na mineração, as doenças ocupacionais provocadas pela exposição dos trabalhadores à emissão de poeira, como é feito o monitoramento do ar atmosférico, o desgaste de equipamentos e outros problemas decorrentes da emissão de poeira. Além de elencar diferentes sistemas de controle de poeira (sistemas coletores de pó, sistemas de supressão de pó e sistemas de abatimento de pó), este trabalho também os exemplifica com alguns equipamentos que podem ser usados numa usina de beneficiamento de minérios de acordo com o sistema de controle de poeira escolhido.

Palavras-Chave: Mineração, Meio Ambiente, Poluição Atmosférica, Controle de Poeira.

ABSTRACT

The emission of dust generated by the production process in the mines coerces the health workers protection and the environmental protection. In this study we addressed issues related to air pollution caused by mining: how is done the monitoring of the atmosphere air, how to control dust in mining, the occupational diseases caused by workers exposure to dust emission, the wear on equipment and other problems arising from the dust emission. In addition to lists of different dust control systems (dust collection systems, wet dust suppression systems and airborne dust capture systems), this work also exemplifies some equipment that can be used in an ore beneficiation plant in accordance with the dust control system chosen.

Keywords: Mining, Environment, Air Pollution, Dust Control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Amostradores Passivos	29
Figura 02: Amostradores Ativos	29
Figura 03: Amostradores Automáticos	30
Figura 04: Bioindicadores	31
Figura 05: Sensores Remotos	32
Figura 06: Composição básica do Hi-Vol	34
Figura 07: Principais Componentes de um Sistema Coletor de Pó.....	41
Figura 08: Tipos de coifa	42
Figura 09: Fluxograma de um sistema coletor de poeira	43
Figura 10: Penetração das gotículas com e sem o uso de surfactantes	46
Figura 11: Aglomeração influenciada pelo Tamanho da gota	47
Figura 12: Influência eletrostática na aglomeração	48
Figura 13: Esquematização de um ciclone.....	50
Figura 14: Princípio de Operação do Filtro de Manga	53
Figura 15: Interior de um Filtro de Manga.....	54
Figura 16: Ventilador Centrífugo	55
Figura 17: Válvula Rotativa.....	56
Figura 18: Transportador Helicoidal.....	57
Figura 19: Princípio de Operação do FOGGER.....	62
Figura 20: Influência do tamanho da gotícula	68
Figura 21: Princípio de Operação de uma Torre Lavadora de gás.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Diâmetro aerodinâmico e passante.....	23
Tabela 02: Tipos de pneumoconioses e a reação pulmonar.....	26
Tabela 03: Limitações e vantagens dos principais tipos de coletores de pó	60

LISTA DE FOTOS

Foto 01: Hi-Vol MP ₁₀ utilizado para coleta de material particulado de tamanho menor que 10µm.....	35
Foto 02: Hi-Vol MP ₁₀ , detalhe das chicanas.....	55
Foto 03: Aspersão de água em estradas.....	38
Foto 04: Ciclone.....	51
Foto 05: Filtro de Manga.....	52
Foto 06: Ciclone ligado a um filtro de manga.....	59
Foto 07: FOGGER: Vista da névoa dentro de um chute de transferência.....	62
Foto 08: Equipamento formador de névoa.....	64
Foto 09: Aspensor de água para supressão de poeira num chute de descarga.....	65
Foto 10: Aspensor de água para supressão de poeira numa moega.....	65
Foto 11: Aspensor de água para supressão de poeira numa correia transportadora.....	66
Foto 12: Bicos aspersores atuando numa correia transportadora.....	66
Foto 13: Detalhe do ângulo de contato da aspersão de água.....	67
Foto 14: Coletores Úmidos ou Lavadores de Gás.....	69
Foto 15: Sistema de abatimento de pó numa correia de alimentação do britador.....	72
Foto 16: Bicos atomizadores.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CESET:** Centro Superior de Educação Tecnológica.
- CONAMA:** Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- CPRM:** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DRX:** Difractometria de raios-X.
- DSI:** Dust Solutions Inc.
- EPA:** *Environmental Protection Agency* (Agência Protetora do Meio Ambiente).
- EPI:** Equipamento de Proteção Individual.
- INFOSEG:** Informativo de Segurança do Grupo Racco.
- ISO:** *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização).
- MP₁₀:** Material Particulado Inalável. (menor que 10 µm)
- MP_{2,5}:** Material Particulado Inalável. (menor que 2,5µm)
- MPS:** Material Particulado em Suspensão.
- MSHA:** *Mine Safety & Health Administration* (Segurança de Mina e Administração de Saúde).
- NR:** Norma Regulamentadoras.
- NRM:** Norma Regulamentadoras de Mineração.
- OSHA:** *Occupational Safety & Health Administration* (Administração da Saúde e Segurança Ocupacional)
- SENAI:** Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.
- TPS:** Taxa de Poeira Sedimentável.
- UFES:** Universidade Federal do Espírito Santo.

LISTA DE SÍMBOLOS

%: porcentagem

μm: micrômetro

cm²: centímetro quadrado

CO: monóxido de carbono

CO₂: dióxido de carbono

g: grama

km: quilômetro

m³: metro cúbico

mg: miligrama

NO_x: óxido nítrico

SO_x: óxido de enxofre

US\$: dólar

1. INTRODUÇÃO

O objetivo primordial da engenharia ambiental é a compatibilização do desenvolvimento tecnológico com a manutenção da qualidade do ambiente, indispensável à sobrevivência e bem estar da humanidade, desenvolvendo atividades com a finalidade de atender as necessidades básicas da sociedade. O Engenheiro de Minas e Meio Ambiente precisa ser capaz de examinar os impactos que a atividade de exploração econômica dos minerais pode provocar no meio ambiente, a fim de melhor projetar e gerenciar o empreendimento, compatibilizando sua atividade profissional com os interesses gerais da sociedade e da própria empresa mineradora.

Associados à mineração existem problemas ambientais tanto no meio interno à mina como no meio externo. No âmbito interno à mina, os problemas fazem parte do campo de estudo da segurança e higiene do trabalho e no âmbito externo das avaliações de impacto ambiental. No Brasil, os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em quatro categorias: poluição das águas, poluição do ar, poluição sonora e visual e subsidência do terreno.

A contribuição da mineração para a poluição do ar é principalmente por emissão de poeira e podemos distinguir dois tipos de poeira: a poeira em suspensão formada de partículas menores que 10 micrometros (estas permanecem muito tempo no ar) e a poeira sedimentável, partículas maiores que 10 micrometros e que ficam pouco tempo no ar. A maior parte da poeira produzida pela mineração é poeira sedimentável.

1.1 PROPOSTA DO TRABALHO

A cada dia mais empresas se encontram na condição de controlar a emissão de particulados para a atmosfera, seja pelas exigências governamentais, seja pelo reaproveitamento da matéria-prima, ou mesmo, pela política de respeito ao meio ambiente. Nesse contexto, o mercado de sistemas de controle ambiental tem crescido, encorajando o surgimento de novos fabricantes e o aprofundamento sobre o tema por parte das equipes de manutenção de cada indústria. Muitos trabalhadores sofrem de inúmeras enfermidades causadas pela inalação de poeira em seu ambiente de trabalho. O objetivo deste trabalho é abordar a questão da

poluição do ar provocada pela mineração, os impactos da emissão de poeira a saúde e as formas de monitoramento e controle dessas emissões.

1.2 JUSTIFICATIVA

A poluição atmosférica pertinente as atividades de mineração está presente ao longo de todas as fases do empreendimento mineiro. Uma mina pode movimentar milhões de toneladas de minério, levando em conta que a vida útil de uma mina é em média de vários anos, os problemas relativos à poluição atmosférica causados pela emissão de partículas da mina, também se estendem por décadas. Sabemos que faz parte também da mina a sua planta de beneficiamento de minério, onde há um grande volume de material sendo transformado o que acarreta também na emissão significativa de poeira. Sendo um local onde normalmente há um grande fluxo de trabalhadores é importante um controle eficiente e significativo dessas emissões.

2. MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE NO BRASIL

De maneira simples, define-se Meio Ambiente como “tudo aquilo que nos cerca”, englobando os elementos da natureza como a fauna, a flora, o ar, a água, sem esquecer os seres humanos.

Na Conferência Rio + 10, realizada de 26 de agosto a 4 de setembro de 2002, em Johannesburgo, a mineração foi reconhecida como uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social em várias partes de seu documento final, tendo em vista que os minerais são essenciais para a vida moderna.

A mineração é hoje um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma significativa para a melhoria da qualidade de vida e o bem estar das presentes e futuras gerações, sendo essencial para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social e preservação ambiental.

Segundo WAGNER et al, (apud FARIAS, 2002), o setor mineral, em 2000, representou 8,5% do PIB, ou seja, US\$ 50,5 bilhões de dólares, gerou 500.000 empregos diretos e um saldo na balança comercial de US\$ 7,7 bilhões de dólares, além de ter tido um crescimento médio anual de 8,2% no período 1995/2000.

No Brasil, a mineração, de um modo geral, está submetida a um conjunto de regulamentações, onde os três níveis de poder federal, estadual e municipal possuem atribuições com relação à mineração e o meio ambiente.

As Normas Regulamentadoras, também conhecidas como NRs, disciplinam e fornecem orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à medicina e segurança no trabalho no Brasil. A NR 22 é a que estabelece sobre Segurança e Medicina do Trabalho em minas, determinando que a empresa adotará métodos e manterá locais de trabalho que proporcionem a seus empregados condições satisfatórias de Segurança e Medicina do Trabalho. A NR 15 é a Norma que estabelece os procedimentos obrigatórios, nas atividades ou operações insalubres que são executadas acima dos limites de tolerância (LT) previstos na Legislação,

comprovadas através de laudo de inspeção do local de trabalho. Agentes agressivos: ruído, calor, radiações, pressões, frio, poeiras minerais, umidade, agentes químicos, e outros. O anexo 12 dessa NR trata especificamente do limite de tolerância para poeiras minerais.

As Normas Regulamentadoras de Mineração – NRM têm o objetivo de disciplinar o aproveitamento racional das jazidas, considerando as condições técnicas de operação, de segurança e de proteção ao meio ambiente, tornando o planejamento e o desenvolvimento da atividade mineira compatíveis com a permanente busca por produtividade, preservação ambiental, segurança e saúde dos trabalhadores. A NRM – 09, trata das medidas de Prevenção contra Poeiras Minerais.

2.1 MINERAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL

Segundo Francisco Alves, no seu artigo da Revista BRASIL MINERAL numa Edição Especial Mineração e Meio Ambiente - nº 228 - Junho de 2004, apesar de ainda ser visto com reservas pela sociedade, o setor de mineração tem avançado bastante nos últimos anos em termos de gestão ambiental. Um dos indicadores disto é que, das 100 maiores empresas de mineração classificadas anualmente por Brasil Mineral, cerca de 25% delas possuem unidades certificadas pela ISO 14.001, o que coloca a mineração como um dos segmentos com maior número de empresas certificadas, juntamente com outros como química e siderurgia. Embora a certificação, por si só, não seja um atestado de que a empresa não polui, é uma comprovação de que ela adota sistemas de gestão ambientais, contabiliza os seus passivos ambientais e se comprometeu a resolvê-los.

O certo é que, com ou sem certificação, a maior parte das empresas mineradoras de médio ou grande porte já adotam programas de gestão ambiental e quase todas classificadas entre as maiores destinam recursos anualmente em seus orçamentos para ações ambientais. Pelos números de que dispomos ainda no artigo de Francisco Alves, os investimentos em meio ambiente variam de R\$ 500 mil a R\$ 4 milhões. A maioria das empresas utiliza técnicas específicas para disposição e contenção de rejeitos, executam a recuperação de áreas mineradas, reutilizam mais

de 70% da água utilizada em seus processos. Muitas ainda desenvolvem ações de educação ambiental e de conscientização junto às comunidades, fazem regularmente o plantio de árvores e se responsabilizam por áreas de preservação permanente.

Portanto, podemos dizer que é falsa a afirmação de que a mineração é a atividade econômica mais agressiva ao meio ambiente. Outras atividades, tais como a agricultura, a petroquímica, a siderurgia, as grandes barragens e a própria urbanização, têm características mais impactantes do que a mineração. (MACHADO apud FARIAS, 1995). Pode-se complementar Machado incluindo a miséria e a falta de planejamento urbano na lista de fatores que agredem o meio ambiente e esses ainda de forma muito mais rápida e intensa que a mineração.

3. A POLUIÇÃO DO AR PROVOCADA PELA MINERAÇÃO

O processo de abertura das minas, a utilização de máquinas, principalmente em lavra a céu aberto, o transporte e beneficiamento do material lavrado, determinam modificações significativas nas características do ar atmosférico próximo às minerações. A quantidade de pó emitida por estas atividades depende das características físicas do material e do modo no qual o material é manuseado e controlado.

Os poluentes atmosféricos provenientes da atividade mineira podem ser classificados em gasosos e particulados. Dentre os principais poluentes gasosos estão o monóxido de carbono (CO) que é incolor, inodoro e insípido, mas um gás altamente tóxico, o dióxido de carbono (CO₂), os óxidos de enxofre (SO_x), os óxidos nítrico (NO_x) e hidrocarbonetos, que são compostos químicos constituído essencialmente por átomos de carbono e de hidrogênio. A maioria desses gases é emitida pelos diferentes processos e equipamentos que utilizam agentes químicos e motores a combustão, usados na extração e transporte do minério.

Os particulados são produzidos por detonação e desmonte das rochas, movimentos de caminhões e máquinas, ação dos ventos nas frentes de lavra, nas pilhas de estéril e nos processos de britagem e moagem dos minérios. Formam-se, ainda, poeiras pela desagregação mecânica, pela ação da perfuração, escavação, peneiramento, na transferência, e em pontos de carga e descarga de substâncias minerais.

A MSHA – Mine Safety & Health Administration define pó como sólidos finamente divididos que podem ficar no ar em estado original sem qualquer mudança química ou física. Essas partículas podem ser metálicas e não metálicas e freqüentemente se sedimentam rapidamente, de modo que as conseqüências ambientais se restringem geralmente ao ambiente de trabalho e a regiões próximas ao empreendimento mineiro. A capacidade de dispersão das poeiras depende da sua densidade, da rugosidade da superfície e também das condições meteorológicas locais.

Uma gama extensiva de tamanhos de partícula é produzida durante um processo gerador de pó. Partículas muito grandes caem enquanto outras permanecem no ar indefinidamente, assim são classificadas em particulados finos - aqueles com diâmetro menor que 2,5 μm (que é 25 mil vezes menor que 1 cm) e particulados grosseiros: os que são maiores que 2,5 μm .

Há pouquíssimo para se dizer em favor do pó, na verdade tal fator poluidor constitui um perigo reconhecido para a saúde, acelera o desgaste das máquinas e equipamentos e também a corrosão e ainda dificulta e onera os serviços de manutenção e reparos.

3.1 TIPOS DE PÓ

Segundo o Manual de Controle de Poeira no Processamento de Minerais da OSHA – Occupational Safety & Health Administration, os particulados ou simplesmente pó, são classificados de diversas maneiras, atendendo variados critérios. O pó pode ser classificado de acordo com a sua toxicidade, seu tamanho e sobre o ponto de vista da higiene ocupacional. De acordo com sua toxicidade o pó é classificado em dois tipos: pó fibrogênico e pó inerte. O fibrogênico, como sílica cristalina livre ou amianto, é biologicamente tóxico e, se retido nos pulmões, pode formar tecido de cicatriz e prejudicar a habilidade dos pulmões de funcionar corretamente.

Pó inerte pode ser definido como aquele que contém menos de 1% de sílica cristalina livre. Por causa de seu baixo conteúdo de silicatos, o pó inerte tem fama de ter pouco efeito adverso nos pulmões. Qualquer reação que acontece por causa dele é potencialmente reversível. Porém, concentrações excessivas de pó inerte no local de trabalho podem reduzir visibilidade, como o óxido férreo, podem causar depósitos desagradáveis em olhos, carros, e passagens nasais, e ainda causam danos à pele ou membranas mucosas por substância química ou ação mecânica.

Do ponto de vista da higiene ocupacional, o pó é classificado através de tamanho em três categorias principais:

- Pó Respirável
- Pó Irrespirável
- Pó Total

3.1.1 Pó Respirável

Recorre às partículas que são pequenas o bastante para penetrar o nariz e no sistema respiratório superior e profundamente nos pulmões. Partículas que penetram profundamente no sistema respiratório geralmente estão além dos mecanismos de limpeza naturais do corpo e são mais facilmente retidas.

O limite de tolerância para poeira respirável, expresso em mg/m^3 , é dado pela equação 01:

$$LT = \frac{8}{Q+2} mg/m^3 \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

LT → Limite de Tolerância

Q → % somente de quartzo

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 dadas na Tabela 01.

Tabela 01 – Diâmetro aerodinâmico e passante.

Diâmetro Aerodinâmico (µm)	Quantidade Passante no Seletor (%)
Menor ou igual a 2,0	90
2,5	75
3,5	50

Diâmetro Aerodinâmico (μm)	Quantidade Passante no Seletor (%)
5,0	25
10,0	0(zero)

Fonte: Dust Control Handbook for Minerals Processing

3.1.2 Pó Irrespirável

A **EPA** - Environmental Protection Agency descreve pó irrespirável como aquela fração de tamanho de pó que entra no corpo, mas é apanhado no nariz, garganta e área respiratória superior. O diâmetro aerodinâmico mediano deste pó é aproximadamente 10 μm .

3.1.3 Pó Total

Pó total inclui todas as partículas no ar, independente do seu tamanho ou composição.

3.2 IMPACTOS DA EMISSÃO DE POEIRA À SAÚDE

A massa de poeira formada em alguns locais se aglomera sobre a superfície da Terra provocando uma diminuição da radiação da luz solar, conseqüentemente causa deficiência em vitamina D em seres humanos, capaz de provocar raquitismo em recém-nascidos. Em conseqüência das diferenças locais de contaminação atmosférica por poeiras na Alemanha, a administração de vitamina D a um recém-nascido em Mannheim era o dobro da quantidade de vitamina D administrada em outro em Hannover (Fellenberg, 1980).

A poeira formada nos locais onde há maior concentração de pessoas, num intervalo de tempo também longo, por exemplo, o local de trabalho, traz influência negativa à saúde e ao bem estar de todos expostos atingindo principalmente o

sistema respiratório, mas também influenciando no desempenho e produtividade dos trabalhadores.

A maneira como o sistema respiratório responde à presença de partículas inaladas depende, em parte, da região na qual elas se depositam. Por exemplo, um pó irritante que se deposita no nariz pode dar origem a uma rinite, inflamação da mucosa do nariz. Quando chegam aos condutos de maior tamanho, como a traquéia e os brônquios, ocasionam inflamação.

3.2.1 Reações dos pulmões ao pó

Segundo o Informativo de Segurança da Racco Brasil – INFOSEG, as reações mais expressivas apresentadas pelos pulmões acontecem nas suas partes mais profundas. As partículas que se depositam nos alvéolos ou nas extremidades dos bronquíolos são aquelas que não são eliminadas no nariz ou garganta. O pó que chega aos alvéolos pulmonares, região em que não existem cílios, é “atacado” por células especiais conhecidas como macrófagos, as quais têm um papel bastante valioso na defesa dos pulmões, porque mantêm limpos os sacos alveolares. Eles praticamente “tentam digerir” as partículas, depois se deslocam até às partes dos bronquíolos cobertas de cílios. Os movimentos que estes possuem, em forma de ondas, impulsionam até a garganta os macrófagos contendo pó e, nessa região, são engolidos ou expelidos. Quando a quantidade de pó é grande pode interferir no sistema de defesa dos macrófagos, fazendo com que o particulado se acumule nos tecidos pulmonares, ocasionando lesões, ou seja, a quantidade e os tipos de pó influem ativamente no grau de gravidade da lesão pulmonar.

Alguns tipos de enfermidades pulmonares causadas pela inalação de poeiras diversas recebem o nome de pneumoconioses, termo que significa simplesmente pulmão com pó. A Tabela 02 apresenta enfermidades pulmonares ocasionadas pela poeira.

Tabela 02 – Tipos de pneumoconioses e a reação pulmonar

Pó inorgânico	Enfermidade	Reação pulmonar
Asbesto	Asbestose	Fibrose
Sílica Cristalizada	Silicose	Fibrose
Carvão	Pneumoconiose por carvão	Fibrose
Berilo	Enfermidade por berilo	Fibrose
Carboneto de tungstênio	Enfermidade por metais duros	Fibrose
Ferro	Siderose	Ausência de fibrose
Estanho	Enfermidade do pó de estanho	Ausência de fibrose
Bário	Baritose	Ausência de fibrose

Fonte: INFOSEG. Os efeitos do pó no pulmão. Ed. 12

DUTRA (2000) afirma que a poeira é prejudicial à saúde quando inspirada por longo tempo. Ela penetra profundamente nos pulmões e se sedimenta nas vias respiratórias provocando irritações crônicas das mucosas, áreas bastante sensíveis. Dentre as pneumoconioses citadas na tabela 02, a silicose e a asbestose são as mais comuns entre trabalhadores de mineração.

Silicose ou fibrose silicótica é uma doença pulmonar crônica, portanto incurável e irreversível, no entanto passível de prevenção, causada pela inalação de poeiras contendo sílica livre, caracterizada por perturbações tanto anatômicas (fibroses generalizadas) quanto fisiológicas (baixa resistência a infecções, dificuldade respiratória), nos pulmões. Clinicamente é caracterizada pelo encurtamento da respiração, diminuição da expansão torácica, maior suscetibilidade à tuberculose e outras infecções. As principais indústrias onde a silicose aparece com maior frequência são as de mineração subterrâneas (minas de ouro, prata, zinco, chumbo, cobre), fabricação de abrasivos, perfuração de túneis e em diversos preparos industriais, etc.

De acordo com TEIXEIRA (1956), a asbestose ou fibrose pulmonar é uma doença pulmonar causada pela inalação da poeira de asbesto (amianto) e caracterizada pela progressiva substituição do tecido nobre pulmonar por um tecido fibroso inativo. O asbesto é composto por silicatos minerais fibrosos com diferentes composições químicas. Quando inaladas, as fibras de asbesto depositam-se profundamente nos pulmões, provocando a formação de cicatrizes. Os sintomas iniciais são uma dificuldade respiratória discreta e a diminuição da capacidade de realizar exercícios. Com o passar do tempo e a contínua exposição à poeira de asbesto a respiração torna-se cada vez mais difícil.

Nem todas as partículas inaladas produzem tecidos fibrosos. Alguns tipos de pó, como os que se originam do carvão e do ferro, permanecem dentro dos macrófagos até a sua morte, assim as partículas se liberam e são novamente absorvidas por outros macrófagos. Se a quantidade de pó é maior que a de macrófagos, as partículas recobrem as paredes internas dos condutos de ar, sem ocasionar a formação de áreas fibrosas, produzindo danos leves e às vezes nem isso. Algumas partículas se dissolvem na corrente sanguínea como, por exemplo, as que contêm cádmio, manganês e chumbo. Assim, o sangue transporta as substâncias por todo o organismo, podendo afetar o cérebro, os rins e outros órgãos.

A proteção do trabalhador por meio de EPI - Equipamento de Proteção Individual é inevitável, porém deveria ser o último recurso de defesa a ser adotado. O uso do EPI nunca deve ser o substituto do necessário e adequado controle das emissões de particulados, mas sim usado em conjunto com as medidas controladoras.

4. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR ATMOSFÉRICO

O monitoramento é um conjunto de atividades como a escolha, a utilização e distribuição de aparelhos amostradores, a escolha de métodos analíticos e determinação da frequência de amostragem, que visa avaliar o efetivo impacto ocasionado por um empreendimento na qualidade ambiental em sua área de influência direta. Normalmente um programa de monitoramento visa atender as exigências ambientais por parte dos órgãos fiscalizadores, entretanto, a interpretação dos dados dos parâmetros monitorados pode também trazer informações sobre a eficiência dos sistemas antipoluentes em operação e orienta o aperfeiçoamento dos mesmos em termos de eficiência operacional.

Os métodos de monitoramento são específicos para amostragem no ar atmosférico, avaliação da poluição “*indoor*” e fontes emissoras industriais. Os métodos de monitoramento do ar são (SENAI apud LISBOA, 2007):

- Passivos;
- Ativos;
- Automáticos
- Sensores Remotos;
- Bioindicadores.

A amostragem passiva tem se mostrado uma alternativa viável para a realização do monitoramento atmosférico a baixo custo e com alta resolução espacial, quando o monitoramento pretendido não necessita de resolução temporal significativa. Amostradores passivos (Figura 01) têm sido bastante utilizados no monitoramento da exposição pessoal em ambientes de trabalho, e nos últimos anos têm sido desenvolvidos com aplicabilidade no monitoramento de gases e vapores em ambientes externos (LISBOA, 2007).

A técnica de monitoramento de compostos gasosos atmosféricos e material particulado mais difundida e aplicada é a ativa, principalmente através do uso de monitores contínuos que utilizam tecnologia complicada e cara. Nos amostradores ativos (Figura 02) um certo volume é sugado por uma bomba e passa através de

um coletor químico ou físico por um determinado período de tempo, normalmente de 24 horas. A coleta pode ser feita por absorção, adsorção, impactação, filtração, difusão, reação ou por combinação de dois ou mais destes processos.



Figura 01 – Amostrador Passivo. Fonte: Modificada do Cap. 04– Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.

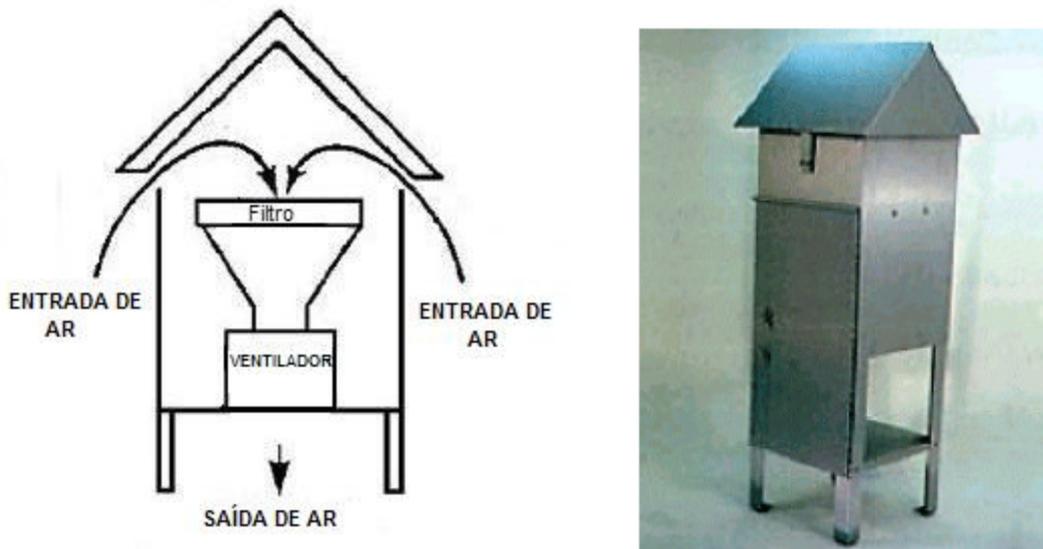


Figura 02 – Amostradores Ativos. Fonte: Modificada do Cap. 04 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.

Segundo ANDRÉS et al (1999) os amostradores automáticos (Figura 03) baseiam-se em alguma propriedade do contaminante, seja ela física ou química, que pode ser, por meio de métodos óptico-eletrônicos, detectada e quantificada continuamente. GIODA e AQUINO (2000) afirmam que esta propriedade característica do contaminante é responsável pela produção de sinais em uma câmara de reação, tais como, mudança de cor, emissão de luz fluorescente, mudança do potencial elétrico na superfície, fluxo de elétrons, produção de aquecimento, ou mudança na frequência de oscilação de um cristal. Estes estímulos são então percebidos por uma fotocélula, a qual produz um sinal eletrônico proporcional à concentração do contaminante. Sensores químicos fornecem a concentração de uma espécie ou classe específica em uma amostra, desconsiderando as demais espécies presentes na amostra analisada.

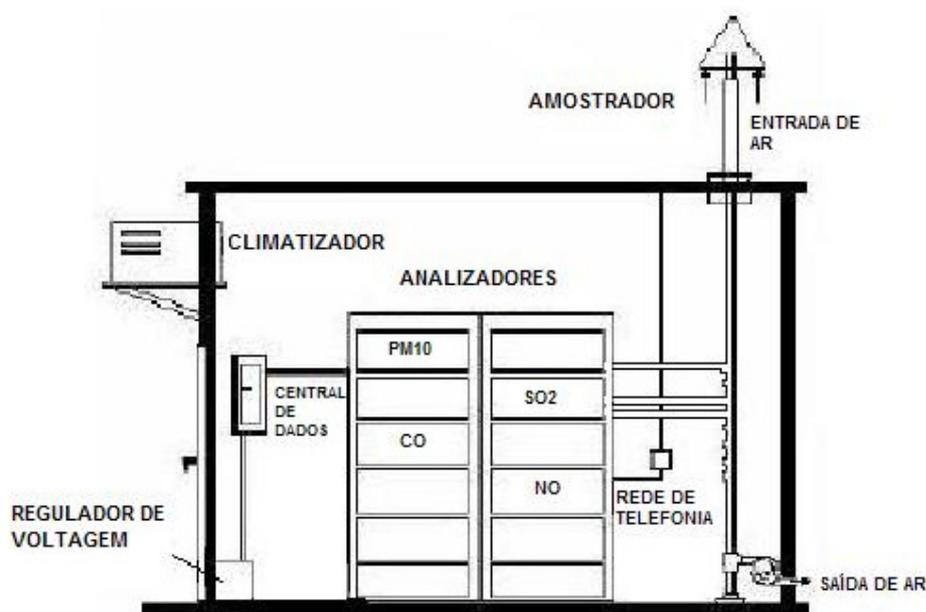


Figura 03 – Amostradores Automáticos. Fonte: Modificada do Cap. 04 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.

Os sistemas de sensoriamento remoto (Figura 04) emitem um feixe de laser para a atmosfera num determinado comprimento de onda e mede a interação dessa radiação com os constituintes da atmosfera. É uma ferramenta de estudo e pesquisa do perfil atmosférico. Suas principais características são; a alta resolução tanto espacial quanto temporal, aliada a possibilidade de observar a atmosfera nas

condições ambientais a que ela se encontra e em tempo real, além de atingir um intervalo de altitude de mapeamento da atmosfera desde o solo até mais de 100 km (NATALI, 2008).

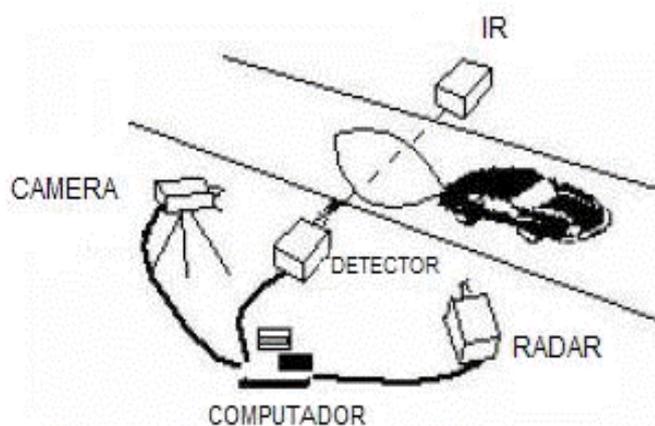


Figura 04 – Sensores remotos. Fonte: Modificada do Cap. 04 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos

Segundo o AMBIENTE TÉCNICO, informativo técnico publicado pela Associação dos Engenheiros da CETESB em setembro de 2002, os bioindicadores (Figura 05), de uma maneira geral, são seres vivos de natureza diversa, usados para avaliação da qualidade ambiental. Podem ser utilizadas de forma passiva, quando se procede a avaliação dos seres que habitam a área de estudo, ou de forma ativa, expondo-se no ambiente espécies previamente preparadas. Tal exposição possibilitará, a partir de sua resposta, a avaliação da qualidade ambiental local. A vantagem do uso de bioindicadores sobre os métodos convencionais de avaliação da qualidade ambiental está em seu baixo custo, podendo, inclusive, serem utilizados para avaliação cumulativa de eventos ocorridos num determinado período de tempo, resgatando um histórico ambiental não passível de detecção ou medição por outros métodos.



Figura 05 – Bioindicadores. Fonte: Modificada do Cap. 04 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos

A escolha dos equipamentos, dos métodos analíticos, do número de amostras e da frequência de amostragens são tarefas que devem ser feitas com muito cuidado, já que a fidelidade dos dados obtidos e a significância estatística são aspectos da maior importância. Quando a qualidade do ar atmosférico é avaliada, o acompanhamento das condições meteorológicas locais torna-se necessário, já que os fenômenos meteorológicos como regime de ventos, turbulência, temperatura e pressão, altura da camada de inversão, umidade relativa, precipitação e radiação solar, exercem papel fundamental na difusão, dispersão e transporte dos poluentes atmosféricos. (LISBOA, 2007)

4.1 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS USUAIS PARA A DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA

Os instrumentos e dispositivos utilizados para a determinação da concentração de poluentes na atmosfera são variados. Alguns são automáticos e outros semi-automáticos e de leitura direta, no entanto a maior parte deles é composta por equipamentos e dispositivos que coletam amostras para posterior análise em laboratório.

A ênfase nesta parte do trabalho está no material particulado em suspensão, por ser o que acarreta mais riscos a saúde, logo será abordado um método de

determinação de material particulado sedimentável fundamentalmente e um método de determinação de material particulado em suspensão, com mais detalhamento.

4.1.1 Material particulado sedimentável (poeira sedimentável)

Segundo LISBOA (2007) a maneira mais usual de se determinar a quantidade de poeira sedimentável da atmosfera é através da exposição, por 30 dias, de um recipiente padronizado contendo um dado volume de água destilada, glicol ou álcool propílico. Ao final do período de exposição, o líquido é evaporado e se determina a quantidade em massa (m) de partículas que se depositou no recipiente. A taxa de poeira sedimentável (TPS) é calculada da seguinte maneira:

$$TPS = \frac{m}{A} \text{ g/cm}^2 \quad (\text{Eq. 02})$$

A área (A) do recipiente é dada em cm^2 .

A TPS é geralmente expressa em toneladas/ $\text{km}^2/30$ dias.

4.1.2 Material particulado em suspensão (poeira em suspensão)

Existem vários tipos e modelos de equipamentos capazes de medir o material particulado em suspensão (MPS), são empregados de acordo com o local e o volume particulado emitido no ar (baixo, médio e grande volume), assim a maioria desses equipamentos é classificada de acordo com volume que será amostrado.

De acordo com LISBOA (2007) o equipamento mais comumente empregado para a medição da concentração de material particulado em suspensão na mineração é denominado amostrador de grande volume (Hi-Vol), já que se trata de uma atividade que movimentada grande volume de material sólido, gerando assim grandes volumes de MPS. O Hi-Vol é um método gravimétrico para análise de partículas em suspensão em ambientes indicado e recomendado pela ABNT-CE-1.61.02 NBR 9547-SET 1986. Segundo a EPA, o período de uma amostragem de particulados em suspensão na atmosfera pelo Hi-Vol é de 24 horas com uma frequência de uma amostragem a cada 6 dias.

O Hi-Vol é composto basicamente de um amostrador, casa ou gabinete, rotâmetro e um regulador e controlador de fluxo, como mostra a Figura 06 – Composição básica do Hi-Vol.

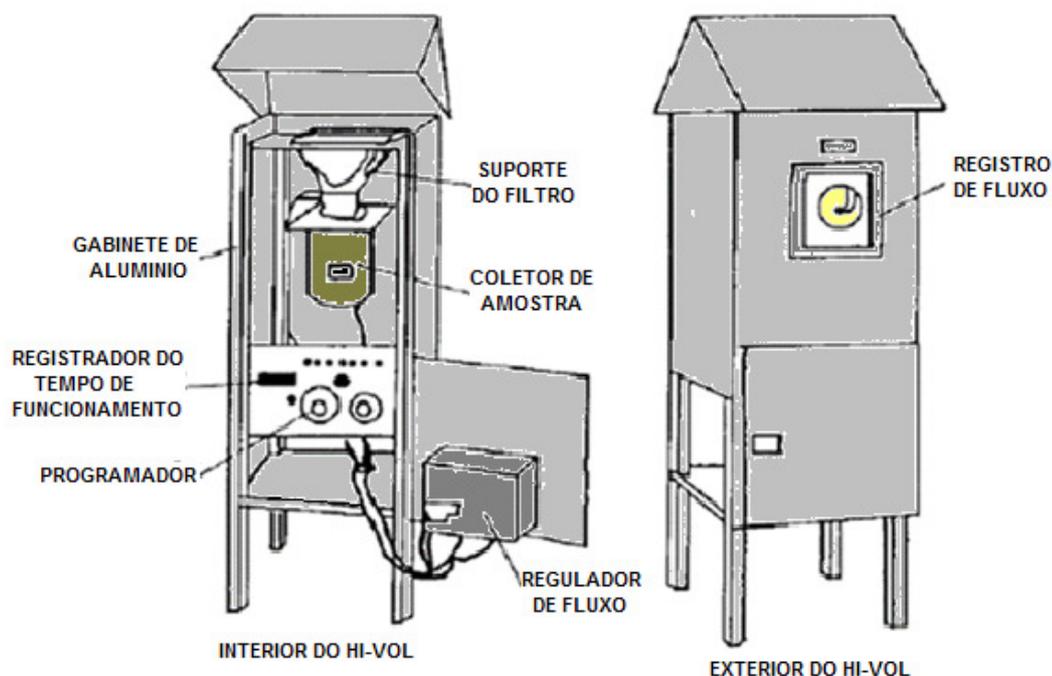


Figura 06 – Composição básica do Hi-Vol. Fonte: Cap. 04 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.

Para determinação de material particulado inalável MP_{10} , que se trata do material que causa mais danos à saúde e é encontrado em grande quantidade principalmente em plantas de beneficiamento de minérios, por ter fases de cominuição envolvidas, recomenda-se o Hi-Vol MP_{10} , ilustrado na Foto 01. Além da composição básica já apresentada, ele é composto também por chicanas, ilustradas na Foto 02, utilizadas para separação por inércia do material particulado de tamanho superior a $10\ \mu m$, as partículas que passam por essas chicanas, as de tamanho menor que $10\ \mu m$, ficam retidas no papel filtro. (LISBOA, 2007)



Foto 01 – Hi-Vol MP₁₀ utilizado para coleta de material particulado de tamanho menor que 10 μ m. Fonte: Cap. 04 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.

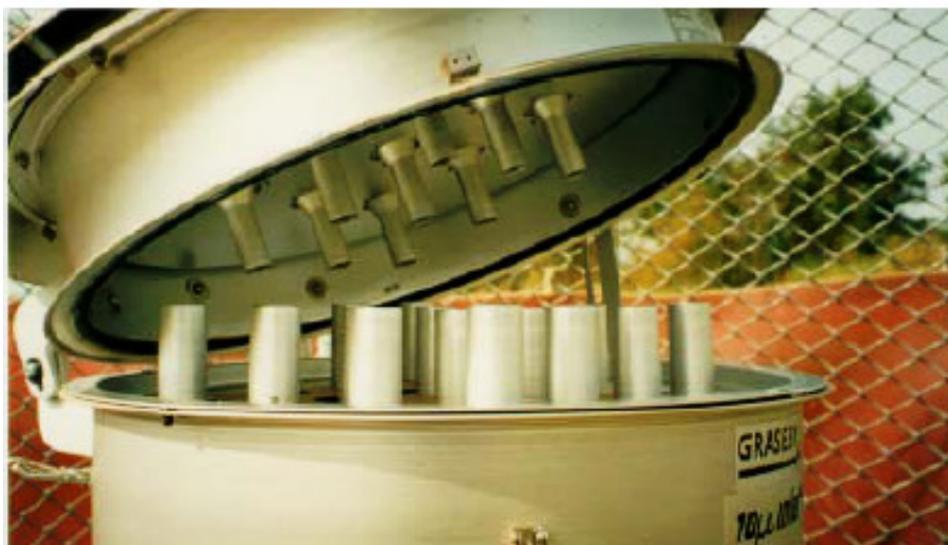


Foto 02 – Hi-Vol MP₁₀, detalhe das chicanas. Fonte: Cap. 04 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.

A identificação qualitativa de elementos e compostos das partículas de poeira coletada sob a forma cristalina pode ser feita através do método da difratometria de raios-X (DRX), enquanto outros tipos de componentes da poeira podem ser identificados por meio de microscopia eletrônica. A partir da avaliação da concentração em que cada partícula está presente na amostra, torna-se possível identificar as fontes emissoras e estimar a efetiva contribuição de cada uma das fontes na alteração da qualidade do ar atmosférico. E enfim com os dados do monitoramento e determinação da qualidade do ar ambiente, pode-se começar a definição da forma de controle de emissão de particulado no ambiente estudado.

5. FORMAS DE CONTROLE DE POEIRA NA MINERAÇÃO

A definição dos métodos de controle da poluição do ar na mineração está baseada num levantamento prévio do tipo de poluente, na caracterização da fonte poluidora, e ainda dos possíveis impactos provocados no meio ambiente pelos poluentes atmosféricos. Faz-se desta forma um diagnóstico ambiental na área do empreendimento e nas regiões próximas. Feito isso, pode-se definir quais devem ser as medidas antipoluentes desejadas e as que apresentam maior eficiência para a resolução do problema.

Dentre as medidas antipoluidoras do ar atmosférico, mais usadas na mineração, estão:

- A. Aspersão de água em estradas (Foto 03), em pilhas de estéril, nas perfurações, nos pontos de transferência de minério e até utilização de agentes químicos estabilizadores. O controle de qualidade da água é de suma importância nessa medida, principalmente quanto à salinidade.

- B. Utilização de proteção natural e artificial contra o arraste eólico, tais como cobertura vegetal em áreas decapadas, pilhas de estéril e cava da mina cobertura com revestimento artificial como plásticos e borrachas. Tais medidas reduzem o efeito dos ventos sob as possíveis fontes de emissoras de poeira;

- C. Utilização de equipamentos despoluidores do ar nas plantas de beneficiamento como filtros, precipitadores eletrostáticos, separadores centrífugos, lavadores, etc.



Foto 03 - Aspersão de água em estradas. Fonte: Irricom.

A seguir será enfatizada a última das medidas antipoluidoras, a letra C, a forma de seleção de sistemas de controle de poeira para plantas de beneficiamento de minérios e ainda os três tipos básicos de controle de poeira atualmente utilizados em plantas de beneficiamento de minérios.

6. SELEÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE POEIRA

De acordo com o Manual de Controle de Poeira no Processamento de Minerais da OSHA, a seleção de um sistema de controle de poeira para plantas de beneficiamento de minérios é normalmente feita com base na qualidade do ar desejada e regulamentos existentes. Devem ser pesquisados em detalhe antes da seleção de um sistema de controle de poeira, varios fatores relevantes a sua implantação. A ênfase deve ser colocada sobre o processo, as condições de funcionamento, as características dos equipamentos, associada aos problemas causados por poeira e a toxicidade do pó. Antes do projeto de um sistema de controle de pó ser feito deve-se obter informações como:

- Fluxograma do processo da instalação indicando itens como taxas de fluxo de material, o tipo de material a ser manuseado e os tipos de equipamentos;
- Principais pontos de emissão e condições de poeiras que ocorrem nesses pontos durante as operações normais;
- Desempenho desejado do sistema;
- Desenhos indicando equipamentos – layout;
- Tempo de retenção do material em silos ou estoques;
- Disponibilidade de equipamentos elétricos e outros utilitários;
- Indicação da população permanente e ocasional de trabalhadores em cada área atingida pelos pontos de emissão.
- Mapa de risco.

Os principais pontos de produção de poeira em plantas de beneficiamento de minérios são distribuídos na seguinte ordem: Movimentação de carga seca (1º), Estoques (2º), Britagem (3º) e Peneiramento a seco (4º). Mas a alimentação da usina, os pontos de transferência e descarga e o retorno de correias são também pontos de emissão de poeira recorrentes que merecem atenção na hora do planejamento e instalação de sistemas de controle.

Os três tipos básicos de sistemas de controle de poeiras minerais atualmente utilizados em plantas de beneficiamento de minérios são:

- Sistemas Coletores de Pó;
- Sistemas de Supressão de Poeira;
- Sistemas de Abatimento de Pó.

Sistemas coletores de pó podem fornecer um eficaz controle durante um longo período, no entanto, o capital e os custos operacionais são elevados. Sistemas de supressão de poeira usam sprays de água para umectar o material de forma que diminua geração de pó e Sistemas de abatimento de pó, que nada mais é eliminar a partícula quando em suspensão, embora um pouco menos eficientes, são menos onerosos para instalar e operar, mas também requerem cuidadosa seleção e planejamento para serem mais eficazes.

6.1 SISTEMAS COLETORES DE PÓ

Segundo o Manual de Controle de Poeira no Processamento de Minerais da OSHA Sistemas Coletores de Pó são os modos mais efetivos para reduzir emissões de pó. Junto com seus componentes objetiva coletar o pó emitido pelos equipamentos da planta de beneficiamento de minérios, tais como britador, peneiras e etc. Um Sistema Coletor de Pó típico consiste em quatro componentes principais:

- Uma coifa para capturar as emissões de poeira na fonte.
- Uma tubulação para transportar o pó capturado para o coletor de pó.
- Coletor de pó para remover o pó do ar.
- Um ventilador motorizado para fornecer o volume necessário de exaustão e energia.

A Figura 07 ilustra o arranjo dos principais componentes de um sistema coletor de pó.

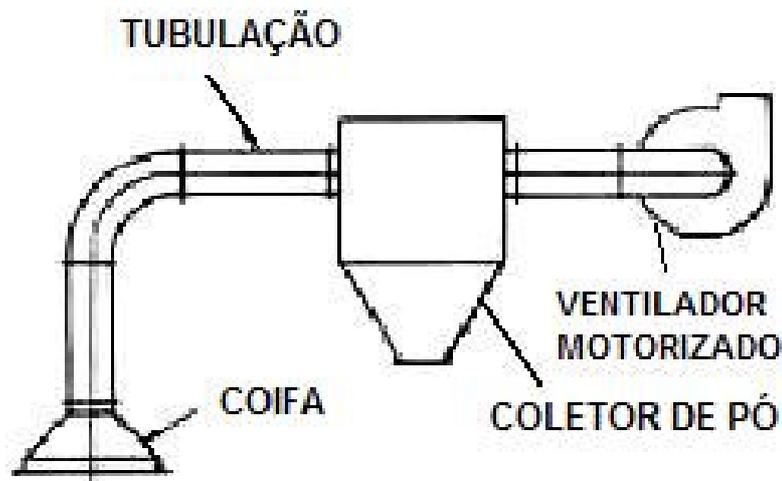


Figura 07 – Principais Componentes de um Sistema Coletor de Pó. Fonte Dust Control Handbook for Minerals Processing.

Cada um destes componentes desempenha um papel fundamental no bom funcionamento de um sistema coletor de pó, o mau desempenho de um componente pode reduzir a eficácia dos outros componentes. Então, a concepção cuidadosa e a seleção de cada componente são de muita importância.

A Coifa é o ponto onde ar contendo pó entra no sistema coletor de pó. Sua importância no sistema não pode ser superestimada. É preciso captar as emissões de poeira de forma eficiente para evitar ou reduzir à exposição do trabalhador a poeira. A Figura 08 mostra os tipos de coifas utilizadas por sistemas coletores de pó.

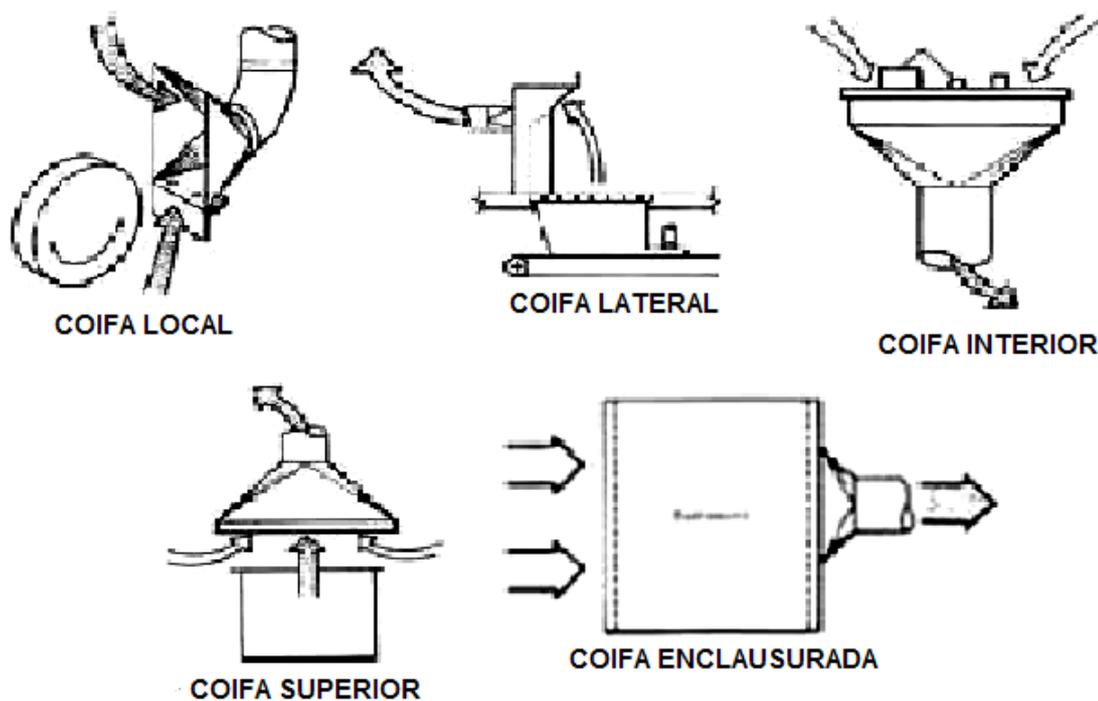


Figura 08 – Tipos de coifas. Fonte: Dust Control Handbook for Minerals Processing.

A tubulação transporta a poeira capturada pelo exaustor para o coletor de pó. É necessário um transporte eficiente do pó capturado para que a operação do sistema seja efetiva e segura. O projeto da tubulação inclui a seleção do tamanho do tubo baseado na velocidade necessária para levar o pó ao coletor sem que ele fique retido no tubo. A partir desta informação, os valores de perdas de pressão no tubo e volumes de ar podem ser calculados e usados para determinar o tamanho e o tipo de ventilador e a velocidade e tamanho de motor (Manual de Controle de Poeira no Processamento de Minerais da OSHA).

Antes do projeto detalhado da tubulação, as informações seguintes devem estar disponíveis:

- Um fluxograma de processo de operação que indique:
 - Tipo, tamanho e velocidade de movimentação do material ou os equipamentos usados no processo.
- Um diagrama de linha do sistema coletor de pó que indique:

- Exaustor e volumes requeridos para cada equipamento, cada ponto de transferência e cada rede de tubo
- Cada secção do ramo identificadas tanto pelo número ou letra.
- O layout geral da instalação indicando:
 - Todos os equipamentos no plano e em elevações;
 - A rota da tubulação e local do exaustor;
 - Local do coletor de pó e do ventilador.
- As informações preliminares do material:
 - Comprimento de cada tubo
 - Número e tipo de conexão, transição e etc.
 - Número e dimensão de "y", para cada ramo e ramos principais, identificados no fluxograma, como mostra a Figura 09.

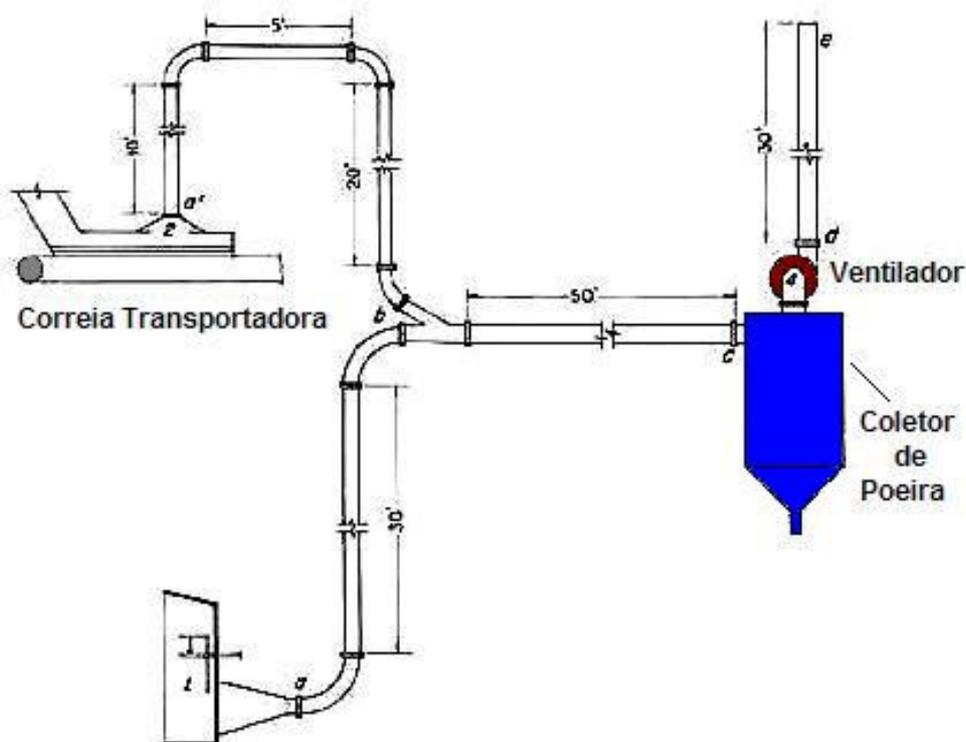


Figura 09 – Fluxograma de um sistema coletor de poeira. Fonte: Dust Control Handbook for Minerals Processing.

De acordo com o Manual de Controle de Poeira no Processamento de Minerais da OSHA o pó coletado deve ser descartado corretamente. Preferencialmente, a poeira deve ser devolvida para o fluxo de minério, se isso não for possível, a eliminação de poeira pode se tornar um problema, muitas vezes poeiras secundárias podem surgir durante a descarga e a eliminação de poeira coletada.

O descarte correto de poeira coletada pode ser realizado em quatro etapas:

1. Remoção da poeira do funil do coletor de pó;
2. Transmissão a poeira;
3. Armazenamento o pó;
4. Tratamento a poeira para disposição final .

As poeiras coletadas devem ser removidas continuamente, ou seja, durante o funcionamento do coletor de pó. Válvulas rotativas devem ser usadas para manter um selo de ar positivo. Depois que a poeira é removida do coletor, deve ser transportada para um ponto central para a acumulação e eliminação final, o transporte de poeira pode ser realizado por transportadores helicoidais, transportadores pneumáticos e outros, os transportadores helicoidais têm sido utilizados com grande sucesso, os transportadores pneumáticos são freqüentemente escolhidos para transmitir a poeira seca, porque eles têm poucas peças móveis e pode transportar horizontalmente ou verticalmente. Para coletores de poeira úmida, transportadores inclinados podem ser usados para transmitir a polpa para uma lagoa de decantação.

Após o material ser removido e transportado do coletor de pó, uma instalação de armazenamento deve ser usada para permitir o escoamento em quantidades eficientes. Tanques ou silos de armazenagem são normalmente utilizados para permitir o carregamento de pó seco em caminhões fechados embaixo. Para os coletores de poeira úmida, a área de acumulação é uma lagoa de decantação.

Na maioria dos casos, a eliminação de poeira fina exige muito cuidado para evitar a recirculação pelo vento. Os métodos de disposição final de poeira comumen utilizados são:

- Deposição em aterro;
- Reciclagem;
- Pelotização;
- O aterramento de minas e pedreiras;
- Utilização como minério.

6.2 SISTEMAS DE SUPRESSÃO DE POEIRA

O sistema de supressão de poeiras consiste em umectar todo o fluxo de material particulado fazendo com que gere menos poeira, isso também impede a emissão de particulado no ar. O eficaz umedecimento do material pode ser alcançado por:

- Propagação Estática - O material é umectado enquanto está parado, como por exemplo, em pilhas. O diâmetro e ângulo de contato das gotículas são fatores importantes na propagação estática.
- Propagação Dinâmica - O material é molhado enquanto se move, como por exemplo, em correias transportadoras, britadores e peneiras. A tensão superficial do líquido, o diâmetro das gotas, o tamanho do material, velocidade e impacto das gotas são variáveis importantes na propagação dinâmica.

Segue abaixo os três tipos de Sistema de Supressão de Poeira a úmido:

- *Spray de água* - Este método usa água em spray para molhar o material. No entanto, é difícil para molhar mais superfícies com água devido a sua alta tensão superficial.
- *Spray de água com surfactantes* - Este método utiliza surfactantes para baixar a tensão superficial da água. As gotículas penetram mais profundamente no material, como mostra a Figura 10.

- *Espuma* - Água e uma mistura especial de surfactantes produzem a espuma. A espuma aumenta a superfície por unidade de volume, o que aumenta a eficiência do sistema.

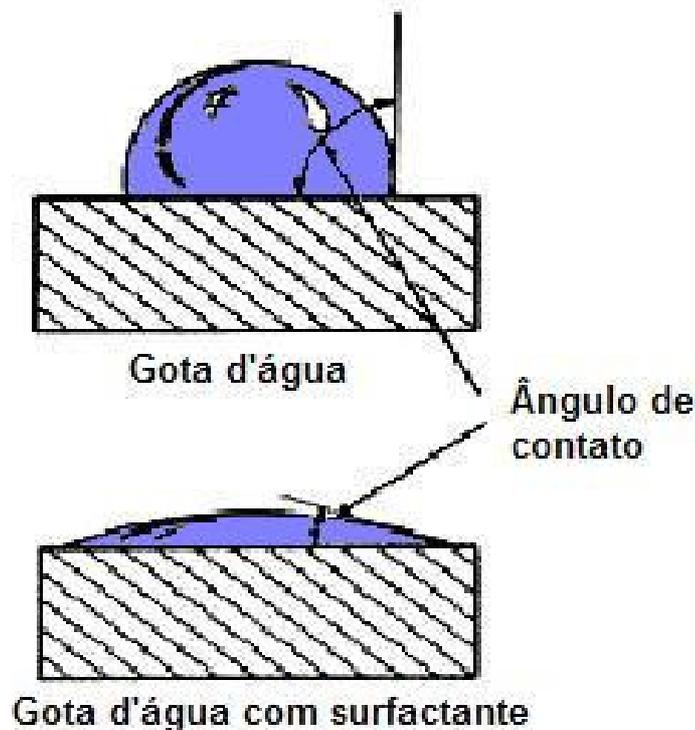


Figura 10 – Penetração das gotículas com e sem o uso de surfactantes. Fonte: Dust Control Handbook for Minerals Processing.

6.3 SISTEMAS DE ABATIMENTO DE PÓ

Nos sistemas de abatimento de pó, gotículas de água muito finas são pulverizadas na poeira suspensa. Quando as gotículas de água e as partículas de poeira colidem, são formados aglomerados. Quando esses aglomerados se tornam muito pesados para permanecerem em suspensão, eles caem.

A aglomeração entre as gotículas de água e as partículas de pó ocorre devido aos seguintes três fatores:

- Impactação / intercepção;
- Tamanho da gotícula / dimensão das partículas;
- Forças eletrostáticas.

Quando uma partícula de poeira se aproxima das gotas de água, o fluxo de ar pode varrer as partículas em torno das gotas, ou dependendo do seu tamanho, trajetória e velocidade, as partículas de poeira podem colidir diretamente com as gotas formando um agregado, assim ocorre a aglomeração por impactação/intercepção.

Gotículas e partículas que são semelhantes em tamanho têm a melhor chance de colidir, assim ocorre a aglomeração influenciada pelo tamanho da gotícula / dimensão das partículas. Gotas menores do que das partículas de pó ou vice-versa, podem nunca colidir, sendo simplesmente varridas uma ao redor da outra. A Figura 11 ilustra essa questão.

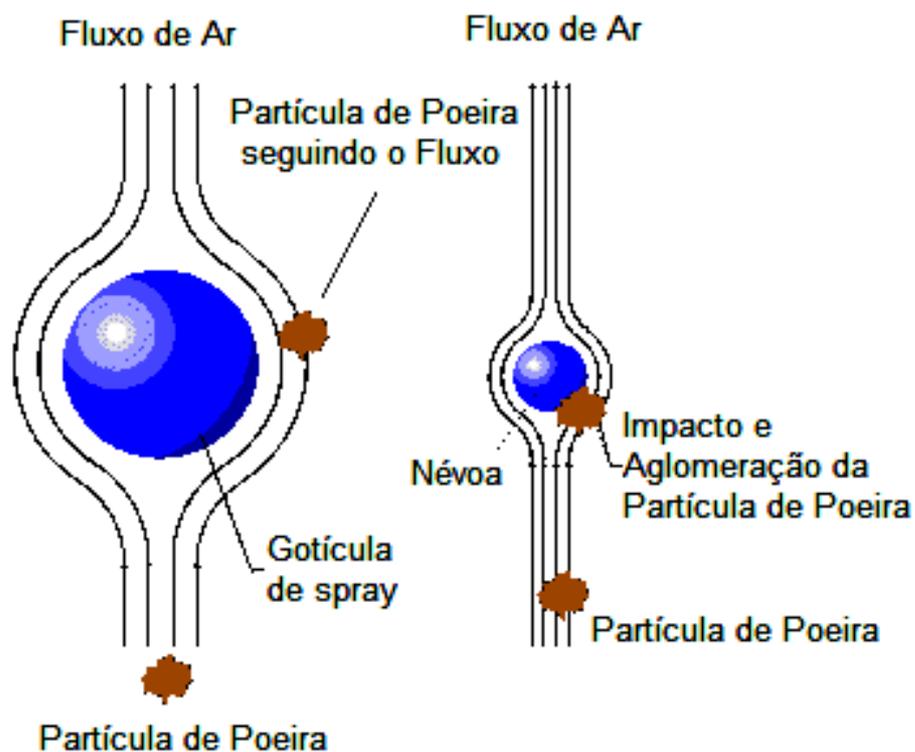


Figura 11 – Aglomeração influenciada pelo tamanho da gota. Fonte: Dust Control Handbook for Minerals Processing.

A presença de uma carga elétrica na gota afeta a trajetória da partícula de poeira em torno da gota. Quando partículas de poeira e as gotículas de água têm

cargas elétricas opostas, a possibilidade de colisão é maior, como mostra a Figura 12.

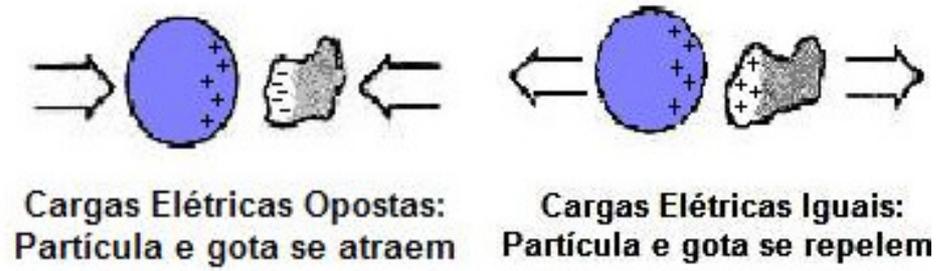


Figura 12 – Influência eletrostática na aglomeração. Fonte: Dust Control Handbook for Minerals Processing.

7. CONTROLE DE POEIRAS

De acordo com os três tipos básicos de sistemas de controle de poeira, foram escolhidos alguns equipamentos correspondentes a cada sistema básico mencionado, a fim de apresentar suas respectivas características, seus princípios de operação e suas vantagens e desvantagens.

7.1 EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS COLETORES DE PÓ

7.1.1 Ciclones

É usado para coletar as partículas de maior tamanho e elevado peso específico, muitas vezes funcionando como pré-coletor, de modo a reduzir a carga de coleta no coletor principal.

Os ciclones estabelecem um movimento rotatório para as emissões de modo que a força centrífuga aplicada às partículas, sendo maior que as forças de coesão molecular e da gravidade, faz com que as elas sejam lançadas de encontro com as paredes, retirando-as da massa gasosa em escoamento. Para que seja alcançado este resultado, o ar deve penetrar tangencialmente na parte superior de um cilindro ou cone, criando um fluxo helicoidal descendente que, ao atingir a parte inferior de um cone, retorne com um fluxo helicoidal ascendente central até a boca de saída na parte superior do cilindro. As forças centrífugas, decorrentes deste movimento helicoidal, projetam as partículas sólidas de encontro às paredes, de onde caem até o cone inferior que as coleta e de onde são removidas. A Figura 13 ilustra a esquematização de um ciclone e a Foto 04 mostra um ciclone.

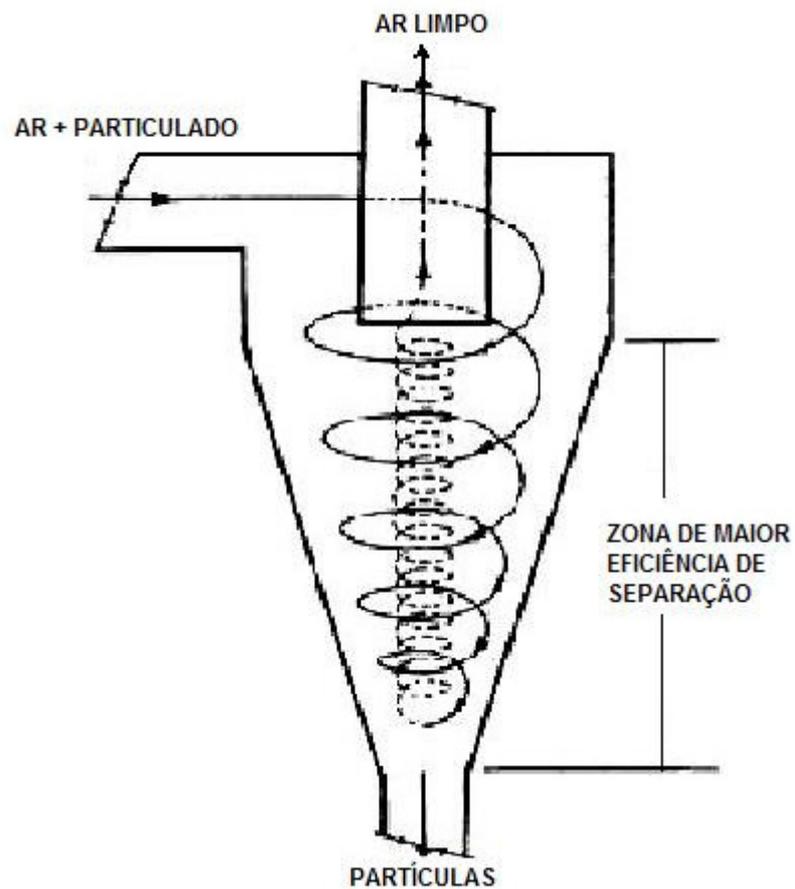


Figura 13 – Esquematização de um Ciclone. Fonte: Modificada do Modulo IV – Equipamentos de Controle de Poluição do Ar. UFES - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



Foto 04 – Ciclones. Fonte: Módulo IV – Equipamentos de Controle de Poluição do Ar. UFES - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

7.1.2 Filtros de Manga

Os filtros são equipamentos mais comumente utilizados para eliminar fumos e poeiras de emissões industriais provenientes de sistemas de moagem de rochas e minerais, peneiramento, abrasão, etc. São usados para limpar fluxos de ar contendo material particulado muito fino. Trata-se de uma câmara lacrada consistindo de uma placa espaçadora (espelho), vários “sacos” de tecido filtrante (mangas) sustentados por armações rígidas (gaiolas) localizadas dentro dos sacos filtrantes, e um sistema para limpeza das mangas. A Foto 05 mostra um filtro de manga.



Foto 05 – Filtro de Manga. Fonte: Modulo IV – Equipamentos de Controle de Poluição do Ar. UFES - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

O fluxo de ar contendo o material particulado fino entra na câmara interna do filtro, pela parte inferior das mangas filtrantes. As partículas mais pesadas depositam-se devido à redução da velocidade e uma mudança de direção. As partículas em suspensão são succionadas através das mangas, ficando aprisionadas sobre a superfície do tecido filtrante (torta filtrante), o que também atua como material filtrante, enquanto o ar limpo atravessa o tecido, saindo através da abertura na parte superior do conjunto da manga e gaiola, entrando na câmara de ar limpo. O ar limpo é expelido para fora do filtro de mangas. Este princípio de operação é ilustrado na Figura 14 e o interior de um filtro de manga na Figura 15.

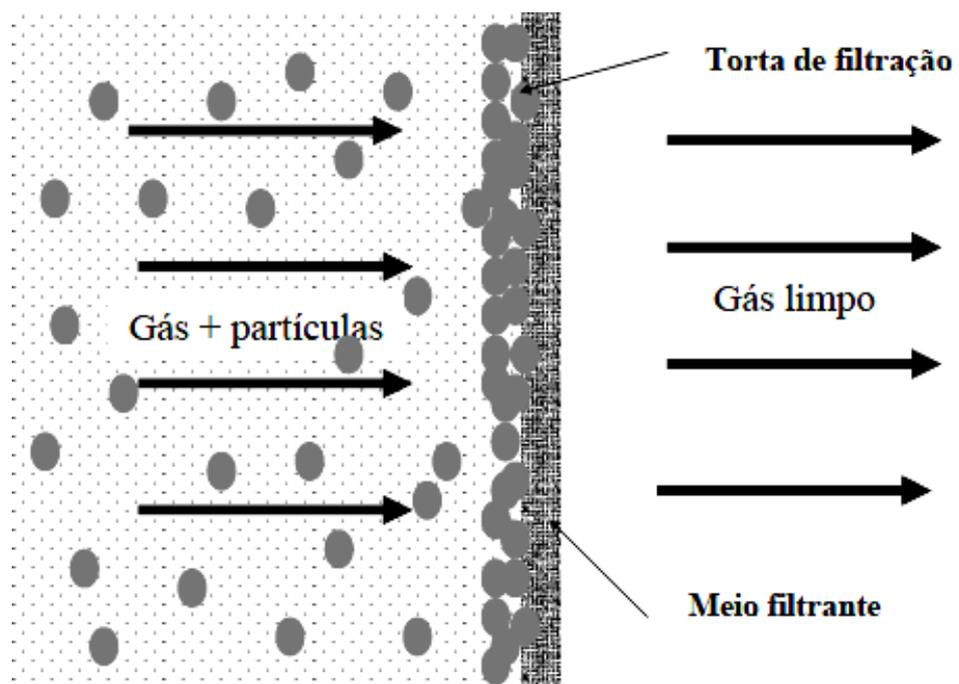


Figura 14 – Princípio de Operação do Filtro de Manga. Fonte: Projeto de Filtro de Manga – CESET

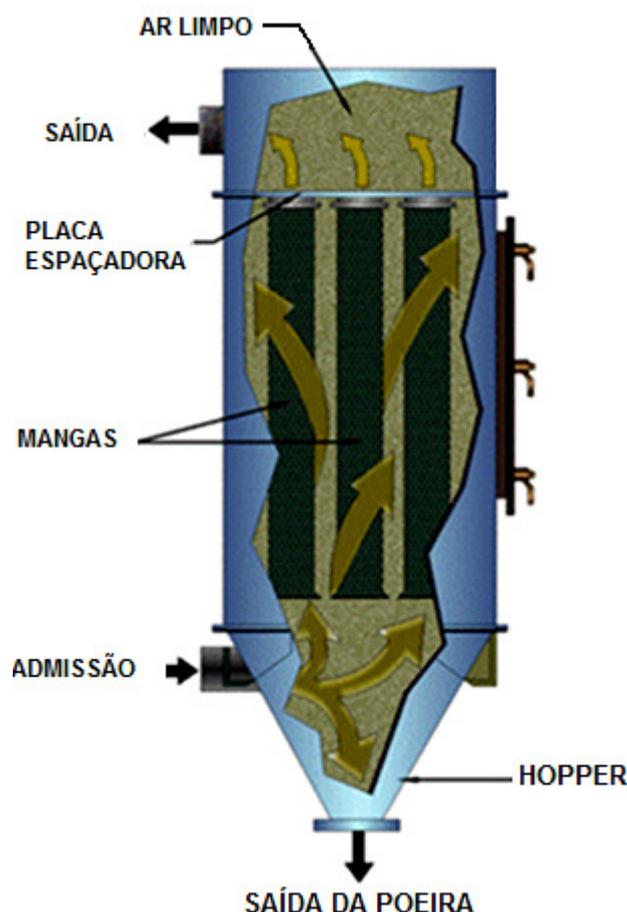


Figura 15 – Interior do Filtro de Manga. Fonte: Manual da Usina do Sossego.

O componente mais importante da área dos filtros de manga é o tecido filtrante e a gaiola que suporta a manga. A gaiola de arame sustenta as mangas, evitando que elas fiquem frouxas quando o ar passa através delas. As mangas são “sacos” fechados na parte inferior. As mangas e a gaiola são fixados na placa espaçadora (espelho) na parte superior do filtro de mangas, através de uma abraçadeira de vedação. Assim, os tubos filtrantes (gaiola com as mangas) são suspensos através da placa espaçadora, uma placa rígida com uma série de furos circulares.

O método de limpeza normalmente empregado utiliza um fluxo de ar reverso, em pulsos, para inflar e momentaneamente reverter o fluxo de ar fazendo com que as partículas de poeira, que aderiram ao lado de fora dos sacos sejam deslocadas. As partículas de poeira são então removidas da área dos filtros de manga. Um timer

é usado para controlar o ciclo de limpeza, ele envia sinais elétricos para as válvulas solenóide no final de cada tubo de sopragem e dispara pulsos de ar comprimido para a limpeza das mangas.

O ar limpo é retirado do filtro de mangas por um ventilador centrífugo e liberado na atmosfera. Um ventilador centrífugo é ilustrado na Figura 16.

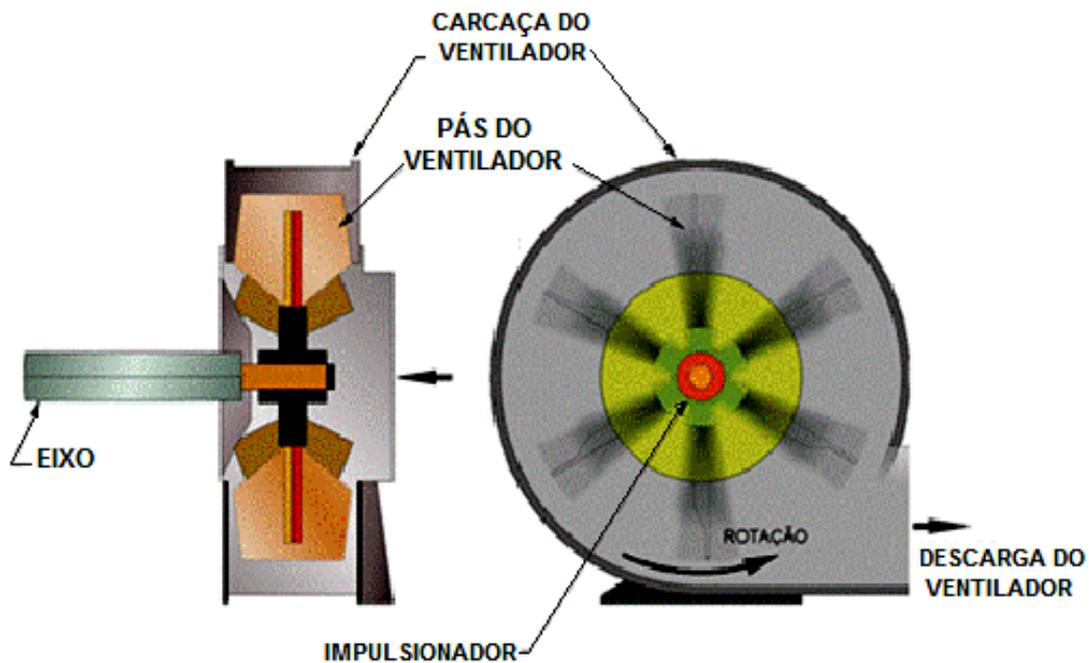


Figura 16 – Ventilador Centrífugo. Fonte: Manual de Operação da Usina do Sossego

O ventilador centrífugo é usado para promover sucção em um sistema, deslocando o ar através do mesmo. O ventilador consiste de uma hélice montada sobre um eixo acionado por um motor. A hélice é constituída de pás radiais situadas no interior da carcaça do ventilador.

Ao girar, a hélice empurra o ar para fora do ventilador através da descarga localizada tangencialmente à carcaça. Essa ação de empurrar, ou comprimir, cria uma área de menor pressão no centro das paletas ao redor do eixo. Assim, o ar é succionado para dentro do ventilador na zona de baixa pressão, entrando axialmente ao eixo do ventilador e sai tangencialmente no ponto de descarga.

As partículas de poeira separadas do ar pelo filtro de mangas são descarregadas por uma válvula rotativa para dentro de um transportador helicoidal. A válvula evita que entre ar externo na área dos filtros de mangas, que está sob pressão negativa. Uma válvula rotativa é ilustrada na Figura 17.

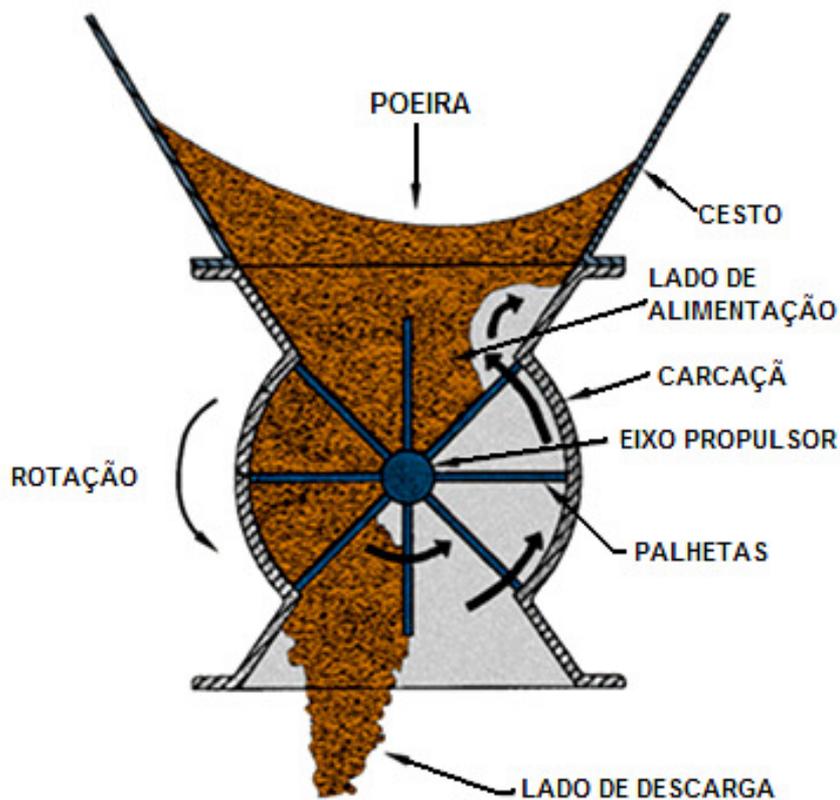


Figura 17 – Válvula Rotativa. Fonte: Manual de Operação da Usina do Sossego

Válvulas rotativas tradicionalmente são instaladas no fundo de vasos ou câmaras que trabalham pressurizados ou sob pressão negativa e retêm o material que precisa ser removido durante a operação. As válvulas rotativas permitem a remoção dos materiais, nesse caso, partículas finas de poeira, sem alterar a pressão no interior da câmara.

Os principais componentes de uma válvula rotativa incluem a carcaça, o rotor, e as palhetas. A carcaça é normalmente feita de ferro fundido e apresenta uma entrada na parte de cima e uma abertura de descarga no fundo. O rotor consiste de um eixo principal e uma série de palhetas. O espaço entre as palhetas forma o vão

que recebe, desloca, e descarrega o material (poeira). As extremidades externas das palhetas se ajustam à parte interna da carcaça para garantir a vedação. Na medida em que a válvula gira, o vão entre as palhetas se enche com poeira na parte superior do rotor. A poeira entra por gravidade através da abertura superior da carcaça. As palhetas cheias avançam de forma que a vedação se mantém pelo encaixe justo entre as palhetas e a carcaça. Ao mesmo tempo, as próximas palhetas vazias são carregadas com poeira. Quando as palhetas cheias chegam no ponto inferior da válvula, a poeira cai pela abertura do fundo da carcaça para dentro do transportador helicoidal, ilustrado na Figura 18.

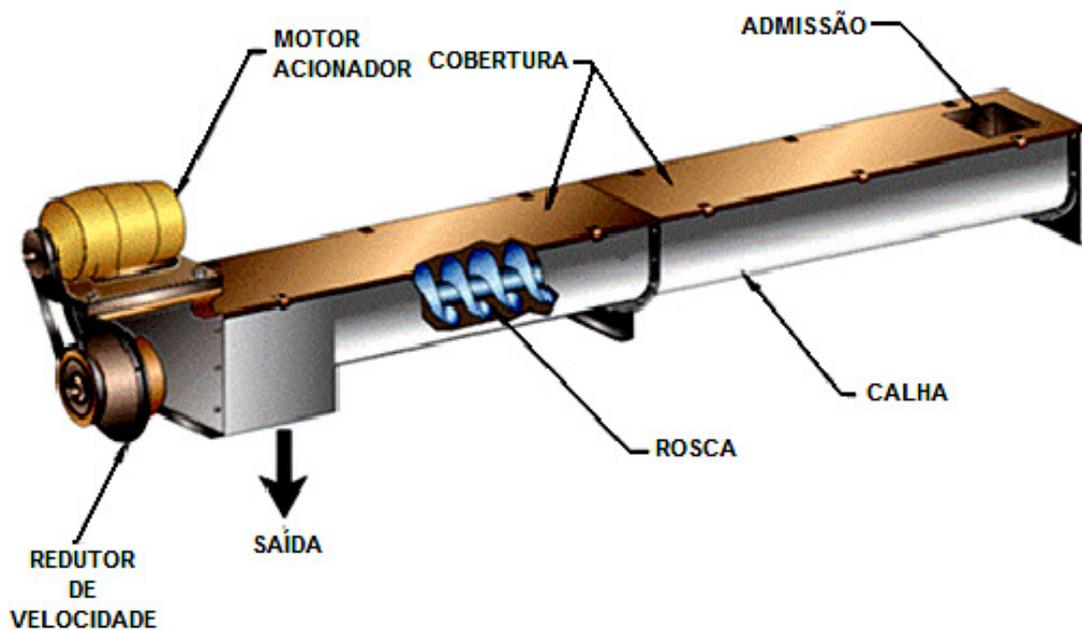


Figura 18 – Transportador Helicoidal. Fonte: Manual de Operação da Usina do Sossego

Um transportador helicoidal consiste de uma rosca (helicóide) girando dentro de uma calha. A poeira cai dentro da calha por um chute de alimentação em uma extremidade e é transportado ao longo da calha para a outra extremidade através da rosca (helicóide), onde cai no chute de descarga. A calha é normalmente coberta para reduzir a geração de poeira. A taxa na qual o material é transportado depende da velocidade de rotação da rosca. Transportadores helicoidais normalmente operam de forma relativamente lenta (menos de 100 rpm). Normalmente a poeira é

descarregada do transportador helicoidal sobre o transportador de correia de minério britado, voltando ao ciclo de beneficiamento.

Os filtros de manga apresentam várias características que justificam a sua vasta aplicação, entre as quais pode-se citar a sua alta eficiência, já que sua perda de carga não é excessiva. Supondo que um filtro receba 100 g/m^3 de pó e deixe passar $0,050 \text{ g/m}^3$ para a chaminé, considera-se que sua eficiência é de 99,95%, ou seja, é a diferença percentual entre as concentrações de pó na entrada e na saída do filtro. Tipicamente, os órgãos ambientais públicos determinam que um filtro não deve emitir mais que $0,05 \text{ g/m}^3$ ou 50 mg/m^3 independentemente da concentração inicial de pó. Salvo filtros localizados em regiões pouco habitadas (150 mg/m^3) ou filtros para pós tóxicos (10 mg/m^3 ou menos). Eles também possuem resistência a corrosão e um comportamento estável diante das perturbações do processo.

Mas a sua aplicação também apresenta algumas desvantagens, ele requer grande espaço se a vazão de material for grande, possuem baixa resistência a altas temperaturas e agentes químicos, os tecidos que compõem as mangas são geralmente sensíveis a agressões por agentes químicos. Há possibilidade de entupimento, a limpeza é feita com ar, o que associado com todo o sistema provoca um alto consumo de energia, além de um custo relativamente alto de aquisição, instalação e manutenção.

A otimização do rendimento do equipamento é um ponto importante para se reduzir custos, ela se inicia com o conhecimento de suas limitações, o seu correto dimensionamento (área filtrante), a mais econômica e eficiente especificação das mangas e a correta operação do filtro.

Os ciclones também apresentam vantagens quanto a sua aplicação em plantas de beneficiamento de minérios. Eles possuem uma baixa perda de carga, boa resistência a corrosão e a temperatura, ao contrario dos filtros de manga que não suportam altas temperaturas, baixo custo de aquisição e manutenção, e ainda a simplicidade no projeto. Enquanto as desvantagens da aplicação dos ciclones são

basicamente a sua baixa eficiência para partículas menores que $5\mu\text{m}$, seu excessivo desgaste por abrasão e a possibilidade de entupimento.

Cada um dos equipamentos de sistemas coletores de pó tem suas limitações e também suas especificações para seu correto dimensionamento, os ciclones geralmente são utilizados para tratamento de vazões menores e muitas vezes estão ligados a outro equipamento coletor de pó, fazendo uma coleta e limpeza primaria do gás contendo particulado, como mostra a Foto 06. Isso geralmente acontece quando a concentração de particulado no ar é muito grande ou o espaço enclausurado é muito pequeno, necessitando de um sistema coletor intermediário antes do principal, evitando problemas como entupimento, dificuldade na filtragem, perda de carga excessiva, limpeza da mangas ineficiente e etc.



Foto 06 – Ciclone ligado a um Filtro de manga. Fonte: Modulo IV – Equipamentos de Controle de Poluição do Ar. UFES - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Na Tabela 03 as limitações e vantagens de ciclones e filtro de mangas são apresentadas.

Tabela 03 – Limitações e vantagens dos principais tipos de coletores de pó.

Parâmetro	Ciclone	Filtro de Manga
Eficiência	De 70 à 90%	Superior a 99,99%
Emissão	Maior que 150 mg/m ³	Menor que 50 mg/m ³
Tamanho da partícula retida	Maior que 10 µm	Maior que 1 µm
Custo de investimento	Baixo	Médio
Custo de manutenção	Baixo	Médio
Custo de operação	Baixo	Baixo
Princípio de Operação	Decantação forçada do pó por inércia.	Impactação e aglomeração do pó com posterior decantação.
Características	<p>Pode sofrer abrasão pelo pó.</p> <p>Baixa eficiência para poeiras finas (com tamanho menor que 5 µm)</p>	<p>Aceita variações das condições pó+gás (concentração de pó, umidade, temperatura e etc) sem variar a emissão significativamente.</p> <p>Boa eficiência para poeiras finas (com tamanho menor que 5 µm)</p> <p>É o mais utilizado do mundo</p>

Fonte: FILTROS DE MANGA.

7.2 EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS DE SUPRESSÃO DE PÓ

Os equipamentos de sistemas de supressão de pó são basicamente aqueles que produzem sprays de água (aspersores) e espumas. Eles objetivam o controle de poeira visível produzida pela mineração, nas suas várias etapas, transporte, carregamento e beneficiamento de minérios. Sistemas com equipamentos

aspersores são eficazes e baratos, e tornaram-se o padrão da indústria de britagem e peneiramento.

Um sistema de spray de água é baseado em um bico que produz uma nuvem de gotas muito densa com tamanho de 1-10 micrometros e que literalmente esconde a fonte de poeira e evita que as partículas de pó sejam transportadas pelo fluxo aéreo. Tem baixo custo, enquanto atinge todos os objetivos acima enunciados para um ideal sistema de supressão de poeira.

7.2.1 FOGGER

Um equipamento de última geração e tecnologia avançada é FOGGER, no português “produtor de névoa”, ele é um oscilador acústico de ar que pulveriza líquidos, passando-os através de um campo de ondas sonoras de alta frequência. Esse efeito é obtido comprimindo o ar numa seção antes do bocal que é especialmente projetada para a convergência. O resultado é um fluxo de ar acelerado além da velocidade do som na seção de convergência. Para reforçar as capacidades, uma câmara de ressonância reflete o fluxo de ar de volta contra ele mesmo para amplificar e complementar a primeira onda de choque. Uma vez que esta onda de choque permanente é gerada, a água é fornecida através de orifícios, são geradas então gotículas, estas pequenas gotículas são, então, transportadas pelo fluxo de ar primário para o impacto das ondas e estouram em uma nuvem com milhares de gotículas de tamanho micrométricos. Então, o ar escapa ao redor. Este princípio de operação do é ilustrado na Figura 19 e a Foto 07 mostra o aspecto da névoa criada pelo FOGGER.

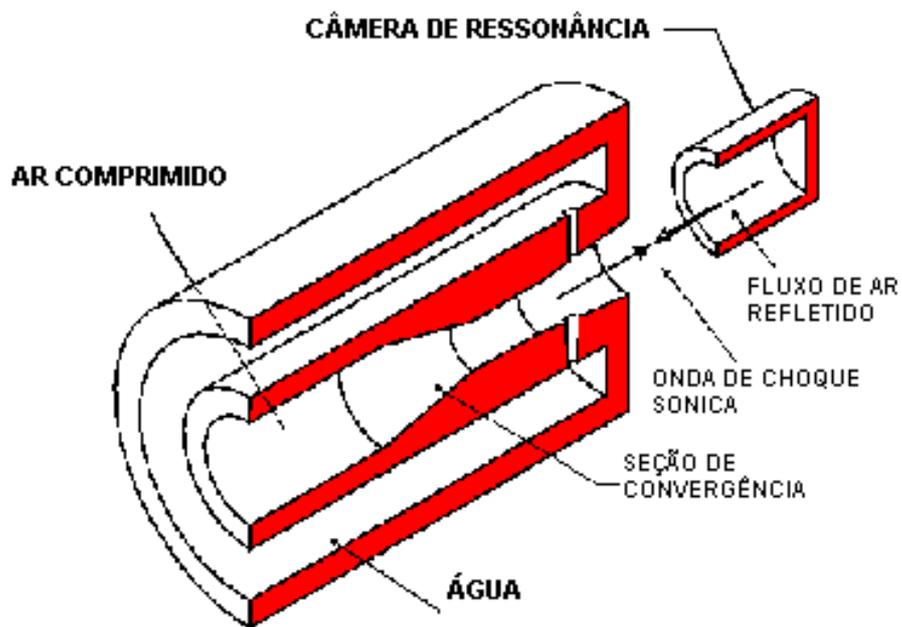


Figura 19: Princípio de Operação do FOGGER. Fonte: DSI – Dust Solutions Inc.



Foto 07 – FOGGER: Vista da névoa dentro de um chute de transferência. Fonte: DSI – Dust Solutions Inc.

A concepção do FOGGER tem óbvias vantagens quanto ao controle da poeira respirável. De qualquer maneira, as suas características inerentes também o tornam

extremamente confiável no ponto de vista de manutenção. Uma vez que o FOGGER não depende de alta pressão sobre a água para alcançar pulverização máxima, os problemas com desgaste são praticamente eliminados, o que não acontece quando há necessidade de bombas de alta pressão.

O FOGGER consegue uma limpeza automática, quando opera com alta frequência de ondas sonoras. O bico não tem peças móveis e é constituído 100% de aço inoxidável, ao contrário de alguns concorrentes que usam peças de latão. Isto elimina desgaste e corrosão e assegura anos de serviço de manutenção facilitado. Mesmo com má qualidade da água comum em muitas plantas de beneficiamento de minérios, sedimentos insolúveis na água maiores que os orifícios para passagem da água são facilmente filtrados pelo sistema.

Entres as desvantagens desse sistema está o fato de que sua aplicabilidade depende do volume de material manuseado, cada bico tem capacidade supressora proporcional ao volume de material, se este for muito alto, a aplicação de vários bicos torna o sistema muito dispendioso. A ação dos ventos inibe a ação supressora da névoa formada pelo sistema, pois parte dela é carregada, limitando sua aplicabilidade em fontes emissoras de pó abertas, tornando quase obrigatório seu enclausuramento.

7.2.2 Outros equipamentos

Há também sistemas de supressão de pó que utilizam equipamentos geradores de espuma, do inglês FLOAM, e sprays contendo surfactantes. Estes sistemas utilizam um agente molhante (surfactante) combinado à água. O objetivo deste processo é molhar por completo o material manuseado para que o pó seja colado à superfície do material maior e não seja lançado à atmosfera. Embora estes sistemas sejam eficientes em certas aplicações, estes não podem ser aplicáveis quando houver efeitos químicos indesejáveis. Existe, entretanto, um grande número de surfactantes químicos adequados disponíveis no mercado. O sucesso dessa tecnologia está vinculado ao aumento da área superficial de coleta e a quantidade de água utilizada, que é cerca de 80 a 90% menor que nos sistemas tradicionais.

Os equipamentos que só utilizam spray de água têm aplicabilidade bem maior, já que a maioria dos processos de transformação utilizada numa planta de beneficiamento de minério é feita com polpa, ou seja, minério e água. Logo se o material for umedecido no processo de controle de pó não acarretará problemas ao beneficiamento do minério.

Muitos equipamentos visam não molhar o material, são aqueles que produzem gotas d'água bem pequenas que apenas aglomeram as partículas suprimindo a poeira. Esses sistemas são os formadores de névoas, eles são recomendados para plantas onde o material processado se torna pegajoso se molhados, o que dificulta, por exemplo, seu peneiramento. Mas na maioria dos casos se usa os equipamentos de spray de água comuns eles aspergem água sobre o material, tornando-o úmido evitando assim a emissão de particulado, durante o transporte, a britagem, a cominuição e o peneiramento.

A Foto 08 mostra o aspecto de equipamentos formadores de névoa, já as Fotos 09, 10, 11, 12 e 13 ilustram os equipamentos de spray de água, ou seja, aspersores. A maioria deles utiliza bicos de média pressão com pequenas vazões e ângulos reguláveis para alcançar o desempenho ideal.



Foto 08 – Equipamento formador de névoa. Fonte: MARTIN ENGINEERING Brasil.



Foto 09 – Aspersor de água para supressão de poeira num chute de descarga. Fonte: PRUNER Automações.



Foto 10 – Aspersor de água para supressão de poeira numa moega. Fonte: PRUNER Automações.



Foto 11 – Aspersores de água para supressão de poeira numa correia transportadora. Fonte: Mina do Sossego



Foto 12 – Bicos aspersores atuando numa correia transportadora. Fonte: ASPERMINAS



Foto 13 – Detalhe do ângulo de contato da aspersão de água. Fonte: ASPERMINAS

Sistemas de filtros para coleta de pó são muito eficientes. Entretanto, muito onerosos, de alta manutenção e aplicável somente a fontes geradoras de pó que estão enclausuradas. As mangas dos filtros têm limitações quanto ao funcionamento em pilhas e o rejeito dos filtros geralmente produzem emissões secundárias de pó.

Os sistemas de spray de água são os meios mais eficientes e de menor custo tanto para controle de processos como para emissões de materiais fugitivos. O controle de pó proporcionado por esse sistema é considerado mais eficaz porque o pó permanece com o produto na origem, enquanto este está sendo perturbado, ou seja, transportado, britado e peneirado.

7.3 EQUIPAMENTOS DE SISTEMAS DE ABATIMENTO DE PÓ

7.3.1 Lavadores de gases ou Torres lavadoras

Destinam-se à captação de pó ou gases mesmo em temperaturas elevadas. Existe uma grande variedade de lavadores de gases, entretanto o funcionamento destes equipamentos baseia-se em fazer as emissões de poeiras e gases receberem água pulverizada. As partículas e os gases, em contato com as gotículas de água, por ação da gravidade, caem, formando um lodo e um licor que periodicamente é recolhido

na base. A Figura 20 ilustra o princípio de funcionamento dos Lavadores de gases e a Foto 14 mostra Lavadores de gases ou Torres lavadoras.

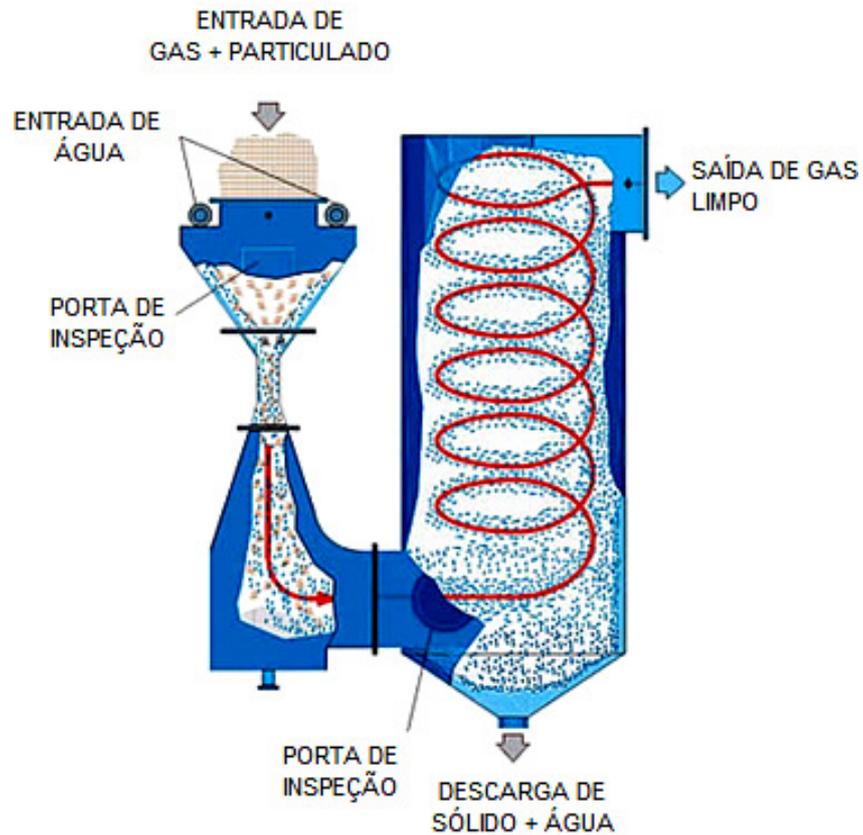


Figura 20 – Princípio de Operação de uma Torre Lavadora de gás. Fonte: Modificada do Modulo IV – Equipamentos de Controle de Poluição do Ar. UFES - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



Foto 14 – Coletores Úmidos ou Lavadores de Gás. Fonte: Modulo IV – Equipamentos de Controle de Poluição do Ar. UFES - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

7.3.2 Bicos atomizadores para abatimento de pó

Tal tecnologia foi desenvolvida no começo da década de 70 com disponibilidade comercial de bicos atomizadores que podem produzir partículas líquidas dentro de 10 a 30 micros. O Instituto Real de Estocolmo realizou o trabalho inicial na Escandinávia. Isto foi resultado direto do aumento das exigências legais da Suécia. Em meados da década de 70, a tecnologia encontrou um caminho nos Estados Unidos, mas as primeiras tentativas para aplicação em mineração não foram satisfatórias devido ao alto capital necessário. No começo da década de 80, a mineração da África do Sul começou a utilizar esta tecnologia, seguida pelas minas australianas em meados da década de 1980.

O desempenho deste sistema de abatimento é baseado no princípio da aglomeração. Partículas de pó lançadas pelo material manuseado (por ex., pontos de transportadores, peneiras, acima e abaixo dos britadores, e áreas de descarregamento) são expostas ao ambiente que contém grandes quantidades de material particulado muito fino. Quando o minério cai em um ponto de transferência,

ele desloca o ar, que arrasta partículas muito finas e leves que ficam em suspensão. Sem alguma medida de controle, parte dessa poeira fina pode se espalhar e causar problemas de saúde e problemas operacionais.

As partículas de pó se aglomeram com as gotículas de água, aumentando seu peso, caindo então de volta à fonte de origem. A porcentagem de água adicionada ao material é extremamente baixa, pois somente o pó fugitivo é atacado. A eficiência do sistema pode exceder 95%, dependendo da aplicação

Os bicos atomizadores geram tais gotículas de água, eles fazem com que o ar contendo poeira fina passe através de uma névoa de água. As partículas de poeira que se chocam com as gotículas de água da névoa ficam aderidas a elas.

Eventualmente, várias partículas de poeira podem prender-se à gotícula, e a aglomeração de partículas resultante cria um peso suficiente para que caia junto com o fluxo de minério principal. O sistema só funciona eficazmente se as gotículas de água forem muito pequenas, quase tão pequenas quanto as partículas de poeira. A influência do tamanho da gotícula é ilustrada na Figura 21.

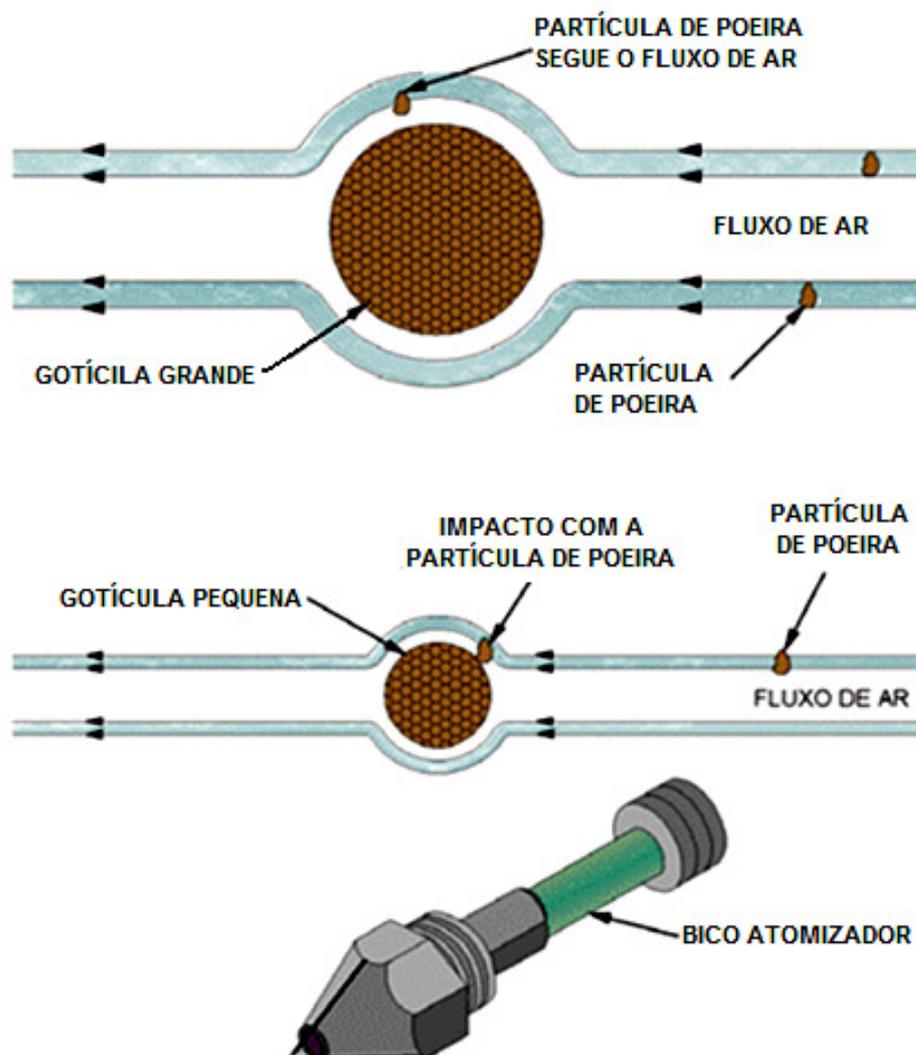


Figura 21 – Influência do tamanho da gotícula. Fonte: Manual da Usina do Sossego

Para produzir gotículas tão pequenas, um fluxo de água precisa ser introduzido a uma velocidade muito alta em um bocal específico para este fim. A fim de produzir as altas velocidades e pressões necessárias, a água é misturada com ar comprimido antes de entrar no bico. Para os bicos atomizadores funcionarem apropriadamente, a água deve ser filtrada e as pressões do ar e da água devem ser reguladas cuidadosamente.

O sistema de abatimento de poeira é distribuído a partir de uma cabine local chamada de *módulo multifunção* dentro de uma cabine de controle. A cabine contém o regulador principal, solenóides, e filtros para o ar e a água do sistema de

abatimento de poeira. Com frequência, água e ar são distribuídos do módulo multifunção para módulos de controle de fluxo separados que contém reguladores para distribuir o ar e a água para conjuntos de bicos atomizadores. As Foto 15 e 16 apresentam sistemas de abatimento de pó.



Foto 15 – Sistema de abatimento de pó numa correia de alimentação do britador.
Fonte: ARCH.



Foto 16 – Bicos atomizadores: Abatimento de pó em peneiras. Fonte: PRUNER

O abatimento de pó com bicos atomizadores é a intersecção entre os sistemas de captação/filtragem e a tecnologia de spray. Funcionando segundo o princípio aonde gotículas de água irão se juntar com pequenas partículas de material sólido (pó), formando partículas maiores e mais pesadas que caem pela força de gravidade, se torna similar ao funcionamento do spray que usa água sem agentes químicos, e ao sistema de coleta de pó, pois não satura o material, e separa o pó pelo processo de filtragem causado pela neblina.

Uma das vantagens desses sistemas é que a maioria deles utiliza um controle central de aspersão gerido por computador. Esse processo envolve múltiplos controladores, sensores e outros dispositivos e permite monitorar e acionar o sistema de aspersão tendo como base os dados coletados de vento, umidade, temperatura, chuva, dentre outros. A partir destes dados é possível determinar a necessidade hídrica para combate à poeira, utilizando a água de forma inteligente e racional. Outro recurso do controle central é a utilização de decodificadores para o acionamento dos emissores de água. O computador comunica-se com os decodificadores por meio de um único cabo, de baixo calibre, que pode cobrir grandes extensões de áreas. Esses decodificadores proporcionam economia na instalação do projeto, facilidade e versatilidade se houver necessidade de se expandir as áreas de abrangência do sistema.

Entre outras vantagens está a alta eficiência no controle de particulado em suspensão, como a parte de aspersão do sistema geralmente se encontra na fonte emissora, quase nada chega aos pulmões dos trabalhadores, praticamente toda a emissão de pó é abatida localmente, sem grandes propagações. Esse sistema tem custo relativamente baixo de aquisição e manutenção e os bicos atomizadores geralmente são feitos de material resistente a corrosão. Possui um baixo consumo de água, o que significa mínima adição de água ao material transportado, produz uma névoa finamente atomizada com distribuição bem uniforme, mínimo custo operacional, não necessita de bombas de alta pressão onerosas ou compressores. O sistema é leve e compacto com instalação rápida e fácil, seu projeto é modular, significa que adições ao sistema podem ser feitas a qualquer tempo.

O entupimento do bico atomizador em casos de deficiência na filtragem da água utilizada está entre as desvantagens desse sistema, além de que dependendo do local de aplicação do sistema, medidas auxiliares devem ser tomadas, o que pode onerar a aplicação do sistema, como por exemplo, cortinas de borracha instaladas no ponto intermediário e na saída dos chutes de descarga, se não houver chute de transferência, são necessários bicos adicionais. Deve ser instalada uma cortina em "U" ao redor da alimentação, se as condições de vento no local não são problemáticas, instale proteção somente em volta da abertura, para condições de vento severas, também é necessária a instalação de uma cobertura superior.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle de pó no manuseio de materiais (descarregamento, transporte, peneiramento, britagem e armazenagem), é um assunto de interesse a projetistas e operadores de várias indústrias, a geração de poeira é um resultado inevitável de suas operações. Em muitas áreas, a emissão de poeira é controlada por órgãos federais, estaduais e locais, e a mineração é uma delas. As exigências estão se tornando mais rígidas e as penalidades impostas para operação sem controle adequado são de grande risco e muito onerosas.

Considerando as despesas com multas e a melhoria do ambiente que podem ser proporcionados, o controle de pó se torna um investimento de operações seguras. Existem inúmeras tecnologias disponíveis para se controlar a emissão de pó, cada uma com seu conjunto de implicações para permitir, custo de capital, produção, custo de operação e manutenção. Escolher o caminho que melhor se adéqua a cada planta não é uma tarefa fácil.

Mas como pode-se ver neste trabalho, as alternativas de sistemas e equipamentos para o controle da emissão de poeira são muitas, tanto para a mina como um todo, quanto para uma planta de beneficiamento de minérios. Neste caso específico ver-se que a escolha do sistema e do equipamento equivalente depende muito do material manuseado e dos tipos de equipamentos que processa esse minério.

Conclui-se que quando é necessário o controle do pó que se respira e não se pode tolerar a adição de umidade no material manuseado, um sistema coletor de pó bem projetado pode ser a solução. Estes sistemas extraem o pó quando este é criado e o filtra através de coletores convencionais tais como mangas. Sistemas coletores de pó são eficazes para certos tipos de materiais e aplicações. São geralmente mais caros e de consumo de energia maior que as demais alternativas, exigem que a fonte geradora de pó esteja enclausurada, possuem também alta eficiência (99,9%).

Os sistemas de aspersão/nebulização (Supressão e Abatimento de pó) são controlados de modo centralizado por softwares específicos que dão mais eficiência

no processo e reduzem o consumo de água e o custo operacional, além de permitir o monitoramento a distância. Nos sistemas de aspersão, são utilizados emissores para aspergir água, de forma a garantir um bom nível de umidade, mantendo a superfície livre de poeira e lama. Já nos sistemas de nebulização, gotículas de água são aplicadas no particulado em suspensão, formando um elemento denso (pó e água) que, por ser mais pesado, não se dispersa no ambiente. Essas características fazem de sistemas como esses uma boa alternativa em quase todas as situações, por isso sua utilização é tão difundida.

Mas como já foi dito, a umidade é uma variável que deve ser muito bem controlada no processo de tratamento de minérios, conseqüentemente também nos sistemas de controle de poeira instalados numa usina, o que provoca certa preocupação quanto à aplicação de sistemas aspersores e de nebulização. Deve-se ter certeza do quanto de água pode ser aspergido no material, afim de que não altere tanto a umidade do mesmo, evitando problemas no processo e danos aos equipamentos.

Muitas vezes o empreendedor utiliza um sistema não específico para controle de pó, que apenas asperge água sem especificação alguma, tentando controlar a emissão de poeira sem o investimento necessário, pensando estar diminuindo custos, mas sabemos que a abundância de água é uma causa significativa de desgaste em peças e equipamentos. A idéia de “quanto mais, melhor” é um erro quando se considera o alto custo de desgaste de peças e equipamentos comparando-se ao investimento de um sistema eficiente para controle da emissão de pó.

O que não se discute é a importância do planejamento como instrumento para se reduzir e até eliminar as emissões de poeira num empreendimento mineiro. Desde dessa fase a poeira pode ser estimada tornando possível o projeto e conseqüentemente à instalação de um sistema de controle de poeira junto com construção e montagem da usina, lembrando que cada mina tem condições específicas e únicas, o que implica em soluções próprias.

Em trabalhos futuros pode-se aprofundar na questão do dimensionamento de um dos equipamentos mostrados neste trabalho, determinando o tipo de poeira (composição química, tamanho e forma) e a quantidade emitida pelos processos da planta de beneficiamento e inalada pelos trabalhadores daquela área.

Selecionando dois ambientes, um ambiente de mineração e um ambiente urbano, pode-se desenvolver um estudo com o objetivo de obter uma avaliação preliminar da qualidade do ar nesses ambientes, realizando um programa de amostragem para cada área, abordando dois pontos básicos: a determinação da concentração de partículas totais em suspensão e a caracterização química e física do material particulado.

Também podem ser desenvolvidos estudos que visem a caracterização química e quantitativa do MPS, associando a presença de elementos químicos danosos a saúde, com frações granulométricas específicas, tais como $MP_{2,5}$ e MP_{10} . Ou ainda estudos que visem caracterizar o comportamento das partículas em suspensão em áreas de mineração, levando em consideração o processo de geração, emissão, dispersão e deposição dessas partículas. Além da proposição de métodos de mitigação e controle desse material particulado gerado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Ivo Torres de. **A poluição atmosférica por material partícula na mineração a céu aberto**. São Paulo, 1999. 194 p.

ANDRÉS DA, Ferrero EJ, Mackler CE. **Importancia de la combinación de equipos activos y pasivos de monitoreo em sistemas de vigilancia de la contaminación atmosférica urbana**. *Rev Tecnoticias* 1999.

ARCH. **Manual do Sistema de Abatimento de Pó**. Fogger System.

CAPÍTULO – VI: A POLUIÇÃO DO AR. Apostila.

CPRM – Centro de Pesquisa de Recursos Minerais, **Relatório perspectivas do meio ambiente para o Brasil: GEO-BRASIL, 2002**. Brasília, Março de 2002. 31p.
<o> Acesso em: 12 de Fevereiro.

CONDURÚ, M. T.; Pereira, J. A. R. **Elaboração de Trabalhos Acadêmicos: Normas, Critérios e Procedimentos**. 2ª Ed. 2006. Editora Universitária UFPA

DUTRA, Adair. **Os efeitos do pó no pulmão**. Ed. 12. INFOSEG.
<09-> Acesso em: 27 de Março.

FARIAS, Carlos. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Relatório Preparado para o CGEE. Outubro de 2002

FELLENBERG, G. **Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental**. São Paulo: EPU. Springer – EDUSP, 1980.

GIODA A, Aquino Neto FR. **Uso de sensores para caracterização da qualidade do ar de interiores**. *Rev Brasindoor* 2000

LISBOA, Henrique. **Cap. 04– Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. Dezembro de 2007. Apostila

NATALI, L. **Utilização dos produtos obtidos por sensoriamento remoto na caracterização da qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo, 2008**, 122 f. Dissertação de Mestrado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 2008.

NORBERTO, Pedro. **Processos Industriais**. Apostila.

Revista BRASIL MINERAL - Edição Especial Mineração e Meio Ambiente - nº 228 - Junho de 2004

SOUZA, M. G. **Fechamento de Mina: Aspectos Legais**, 2002.
<<http://www.brasilminingsite.com.br/artigos/>> Acesso em: 13 de Abril.

TEIXEIRA, C. M. & M., M. **Higiene das minas. Asbestose**. Belo Horizonte: Departamento Nacional da Produção Mineral- DNPM, Boletim 98, 1956.
<www.dnpm.gov.br/> Acesso em: 19 de Fevereiro.

VALE. **Manual da Usina do Sossego**.

Sites de Empresas Consultados:

ASPERMINAS Sistemas de Irrigação
<<http://www.asperminas.com.br/index.asp>> Acesso em: 12 de Junho.

ARCH Environmental Equipment, Inc.
<<http://www.arch.com.br>> Acesso em: 26 de Junho.

DSI – Dust Control Solutions for the 21st Century.
<<http://www.nodust.com/dsides.htm>> Acesso em: 24 de junho

EQUIPAMENTO E PROCESSO PARA O CONTROLE DA EMISSÃO DE PARTÍCULAS (POEIRA).
<<http://www.patentesonline.com.br/equipamento-e-processo-para-o-controle-da-emissao-de-particulas-poeira-140312.html>> Acesso em: 16 de Junho.

EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR.
<[www.inf.ufes.br/~neyval/Rec_Atм\(moduloVI\).pdf](http://www.inf.ufes.br/~neyval/Rec_Atм(moduloVI).pdf)> Acesso em: 11 de Junho.

FILTROS DE MANGA – COMO OBTER O RENDIMENTO MÁXIMO DOS FILTROS DE MANGA

<www.quimicaederivados.com.br/revista/qd407/filtros1.htm> Acesso em: 04 de Março.

MARTIN ENGINEERING Brasil

<www.martin-eng.com.br> Acesso em: 20 de Maio

MIDWEST INDUSTRIAL SUPPLY, INC.

<<http://www.midwestind.com>> Acesso em: 28 de Junho.

PRUNER ENGENHARIA E AUTOMAÇÃO TECNOLOGIA AMBIENTAL.

<<http://www.pruner.com.br/>> Acesso em: 07 de Julho.

RACCO BRASIL – INFORMATIVO DE SEGURANÇA INFOSEG

<http://www.raccosafety.com.br/msa_infoseg.htm> Acesso em: 22 de Maio.

VECTRA EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS - DESPOEIRAMENTO E SEUS ELEMENTOS

<<http://www.vectraequipamentos.com.br>> Acesso em: 03 de Julho.