



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**CONTAMINAÇÃO DE AERODISPERSÓIDES METÁLICOS NA INDÚSTRIA E SEU
RISCO NA SAÚDE DOS TRABALHADORES**

LIVIA GARCIA SOARES

UBERLÂNDIA-MG

Dezembro 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**CONTAMINAÇÃO DE AERODISPERSÓIDES METÁLICOS NA INDÚSTRIA E SEU
RISCO NA SAÚDE DOS TRABALHADORES**

LIVIA GARCIA SOARES

Monografia de graduação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia como
parte dos requisitos necessários para a
aprovação na disciplina de Projeto de
Graduação do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni

UBERLÂNDIA-MG
Dezembro 2017

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DE MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE LIVIA GARCIA SOARES
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 12/12/2017.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni
Orientador – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Luiz Gustavo Martins Vieira
FEQUI/UFU

Profa. Dra. Márcia Gonçalves Coelho
FEQUI/UFU

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, Ele que sempre esteve presente durante minha caminhada, me dando saúde, força e determinação para superar todas as adversidades e persistir.

Agradeço também à minha família e amigos, em especial à minha mãe Cristina e meu pai Adilson, meus irmãos Matheus e Naira, e às minhas amigas Lara e Thaynara presentes nos momentos bons e ruins, nas conquistas e nas dificuldades, celebrando meu sucesso e me amparando nas horas difíceis.

À Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia pela organização e suporte na realização desta jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni, pelo apoio, incentivo e auxílio para a realização deste trabalho.

A Profa. Dra. Marcia Gonçalves Coelho, pela oportunidade de trabalhar com um tema do meu interesse.

Aos professores da banca avaliadora pelos conselhos, análises e críticas construtivas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELA.....	ii
LISTA DE SÍMBOLOS	iii
RESUMO	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Higiene Ocupacional.....	3
2.1.1 Objetivo da Higiene Ocupacional.....	3
2.2 Classificação dos Agentes Ambientais	4
2.3 Agentes Químicos	5
2.3.1 Gases e Vapores.....	5
2.3.2 Aerodispersóides.....	6
2.4 Metais Pesados	7
2.4.1 Arsênio.....	8
2.4.2 Cádmio.....	9
2.4.3 Chumbo.....	10
2.4.4 Manganês.....	11
2.4.5 Mercúrio	12
2.5 Doenças Ocupacionais Provocadas por Produtos Químicos.....	13
2.5.1 Saturnismo	13
2.5.2 Hidrargirismo.....	14
2.5.3 Manganismo ou Parkinson mangânico.....	14
2.5.4 Siderose.....	15
3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	16
3.1 Amostragem de Aerodispersóides.....	16

3.1.1	Bomba de amostragem	17
3.1.2	Meio de Coleta.....	17
3.1.3	Sistema Separador de Tamanho de Partículas (Ciclone).....	19
3.2	Legislação Ocupacional para Aerodispersóides.....	22
3.2.1	Limites de Tolerância na NR-15. Portaria n.3.214/78 do TEM	23
3.2.2	Limites de Tolerância Recomendados pela ACGIH	23
3.3	Procedimento de avaliação de fumos e poeiras metálicas.....	25
3.4	Avaliação de Poeira para Fins de Insalubridade e Aposentadoria Especial	28
3.4.1	Insalubridade.....	28
3.4.2	Aposentadoria especial	28
4	MEDIDAS DE CONTROLE	29
4.1	Medidas Relativas ao Ambiente.....	29
4.1.1	Substituição do Produto Tóxico ou Nocivo.....	29
4.1.2	Mudanças ou Alteração do Processo ou Operação.....	29
4.1.3	Encerramento ou Enclausuramento da Operação	29
4.1.4	Segregação da Operação ou Processo.....	29
4.1.5	Umidificação.....	30
4.1.6	Ventilação Geral Diluidora.....	30
4.1.7	Ventilação Local Exaustora	31
4.2	Medidas Relativas ao Homem.....	35
4.2.1	Limitação do Tempo de Exposição	35
4.2.2	Educação e Treinamento.....	35
4.2.3	Equipamento de Proteção Respiratório	35
4.2.4	Controle Médico	36
5	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Bomba de amostragem de poeiras e gases.....	17
Figura 3.2 - Dispositivo de coleta para particulado total (cassete)	18
Figura 3.3 - Amostrador para coleta de material particulado respirável	20
Figura 3.4 - Dispositivo de coleta tipo IOM para particulado inalável.....	21
Figura 3.5 - Dispositivo de coleta para particulado torácico e respirável.	22
Figura 3.6 - Bomba gravimétrica ligada ao ciclone de fração respirável e meio de coleta.	26
Figura 4.1 - Esquema de um sistema de ventilação local exaustora.	32
Figura 4.2 - Princípios de exaustão – enclausuramento	33
Figura 4.3 - Princípios de exaustão – direção fluxo de ar	33

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1 - Tipos de Poeiras	6
Tabela 2.2 - Limites de chumbo no ar para exposição ocupacional em vários países.	11
Tabela 3.1 - Percentual de separação em função do tamanho das partículas respiráveis.....	19
Tabela 3.2 - Percentual de separação em função do tamanho das partículas inaláveis.	20
Tabela 3.3 - Percentual de separação em função do tamanho das partículas torácicas.	21
Tabela 3.4- Limites de tolerância recomendados pela ACGIH para alguns tipos de particulados.	24
Tabela 3.5- Limite para exposição ocupacional para diversos metais	25
Tabela 4.1 - Fatores de proteção respiratória.	36

LISTA DE SÍMBOLOS

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists

IDLH – Immediately Dangerous to Life and Health

LEOs - Limites de Exposição Ocupacional

LTs – Limites de Tolerância

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

NHO – Normas de Higiene Ocupacional

NR – Norma Regulamentadora

Ppm – Parte por Milhão

PPR – Programa de Proteção Respiratória

PPRA – Programa de Preservação de Riscos Ambientais

SSST - Serviço de Saúde e Segurança do Trabalho

WHO – World Health Organization

RESUMO

Existem muitos tipos de partículas suspensas no ar do ambiente onde habitamos, porém algumas são particulares do ambiente de trabalho do homem. A variedade de poeiras às quais os trabalhadores estão expostos, na forma de substância pura ou misturas, é enorme. A inalação é a forma mais comum de entrada das poeiras no organismo. Os efeitos das poeiras inaladas dependem das espécies químicas que as compõem, da sua concentração no ar, do local de deposição no sistema respiratório e do tempo de exposição do trabalhador a esses aerodispersóides. O risco à saúde pode ser avaliado adequadamente somente depois medido o número relativo de partículas insolúveis, pequenas e grandes, presentes no ambiente. Métodos para medição do tamanho de partícula em aerodispersóides são pesquisados desde o início do século XX, sendo refinados e otimizados desde então, em paralelo ao desenvolvimento de novas técnicas. Apesar de existirem leis para o controle da poluição atmosférica, sua fiscalização frente a sua importância em relação ao meio ambiente e na saúde dos seres humanos, é amplamente questionada. Com ênfase na contaminação por aerodispersóides metálicos, este trabalho teve como objetivo entender o que são aerodispersóides metálicos; avaliar os possíveis riscos à saúde dos trabalhadores; apresentar formas de medição e de controle dessas partículas, expor maneiras de prevenção e proteção do trabalhador, prevenir e amenizar possíveis riscos à saúde e por fim analisar se os índices de tolerância estipulados pelas normas regulamentadoras são condizentes com a realidade dos trabalhadores. No presente trabalho, verificou-se a necessidade de implantação de controle e revisão nas normas trabalhistas a respeito da exposição do trabalhador a agentes químicos, tais como os aerodispersóides metálicos e não metálicos.

Palavra chave: Aerodispersóides, Índice de tolerância, Partículas.

1 INTRODUÇÃO

Desde que os primeiros seres vivos habitaram a superfície terrestre, eles respiraram um ar no qual existia partículas em suspensão. Assim o sistema respiratório foi moldado de modo que fosse possível eliminar inofensivamente essa quantidade de partículas presentes no meio ambiente. O problema aparece quando essas partículas são inspiradas a uma velocidade tal que nosso sistema respiratório é incapaz de filtrá-las. Isso ocorre quando a concentração de partículas no ambiente é grande e o tempo de exposição é bem superior ao que o organismo é capaz de lidar. Essa alta concentração de poeira nociva e a longa exposição podem ser observadas principalmente nas indústrias, afetando grande maioria dos trabalhadores (RODRIGUEZ, 1980).

O risco à saúde pode ser avaliado adequadamente somente depois de medido o número relativo de partículas insolúveis, pequenas e grandes, presentes no ambiente. As partículas grandes insolúveis são capturadas nas passagens nasais e vias aéreas superiores, e são rapidamente eliminadas pela tosse, espirro ou então são engolidas. Elas são preocupantes no trato respiratório superior somente se produzirem irritação local ou propagação para tecidos adjacentes.

Já as partículas pequenas insolúveis podem se depositar nos espaços mais profundos do pulmão. Elas podem ser removidas pelos processos fisiológicos de proteção e limpeza ou podem ser retidas no corpo por longos períodos. A combinação desses diversos processos governa o potencial de risco das poeiras. Para evitar a exposição nociva à saúde, é necessário um estudo sistemático dos locais de trabalho, com avaliação quantitativa dos particulados e comparação com os limites de tolerância normalizados, além da adoção de medidas de controle, normas de procedimentos seguros e vigilância médica.

Desde a Antiguidade, encontramos estudos sobre a nocividade da poeira, os quais remontam a Hipócrates (IV a.C.). Posteriormente, Plínio citou a utilização de bexigas (balão) pelos refinadores de chumbo, que as usavam sobre a face para evitar a inalação de poeira. Ao longo da história, vários pesquisadores (Galeno, Platão, Marcial, dentre outros) trataram de alguma maneira o problema da inalação de poeira. Em 1672, Van Diemerbroeck estudou vários cortadores de pedra já falecidos, e comprovou na autópsia, ao dissecá-los, que seus pulmões pareciam feitos de areia. Em 1700, B. Ramazzini estudou os sintomas clínicos e lesões ocasionadas pela inalação de pó (SALIBA, 2016).

Métodos para medição de tamanho de partículas em aerodispersóides são pesquisados desde o início do século XX. O interesse por essa área tem sido mais intenso nos últimos 30 anos, estimulado pelo aumento da poluição urbana, por estudos sobre doenças ocupacionais causadas pela exposição à poeira e pelo desenvolvimento de dispositivos para controle de salas limpas destinadas a trabalhos com componentes eletrônicos (SANTOS, 2001).

Muitos métodos para a medição de tamanho de partículas foram refinados ou desenvolvidos durante esse período, partindo da microscopia para métodos instrumentais automatizados.

Logo, o **objetivo geral** deste trabalho foi estudar o que são aerodispersóides metálicos e seus riscos a saúde dos trabalhadores, pesquisando-se sobre metais pesados para compreender a importância do uso destes metais na indústria, as maneiras ao quais os trabalhadores podem estar expostos a contaminação, e por fim conhecer os possíveis danos quando há a inalação em excesso desses compostos.

Este trabalho teve como **objetivo específico** estudar a forma de amostragem das partículas metálicas, para determinar se o ar está de acordo com o limite de tolerância. Além disso, verificar se os limites de tolerância, estipuladas pela NR – 15 da Portaria nº 3.214, estão de acordo com os padrões atuais e comentar as possíveis medidas ambientais e trabalhistas que podem ser tomadas para prevenir ou minimizar os riscos.

No Capítulo 2, denominado “Revisão Bibliográfica” foram apresentados: Definição de Higiene Ocupacional, mostrando seu objetivo; Classificação dos Agentes Ambientais, onde estes são divididos em agentes físicos, químicos e biológicos; Definição detalhada dos agentes químicos; Descrição sobre alguns metais pesados, onde aborda-se a importância desses metais nas indústrias e como ocorre a contaminação dos trabalhadores e no final uma descrição das doenças ocupacionais, descrevendo-se os efeitos agudos e crônicos.

No Capítulo 3 denominado “Avaliação da Exposição Ocupacional” foram abordados os equipamentos para amostragem e os procedimentos realizados para medição das partículas metálicas; Como foram estipulados os índices de tolerância e o cálculo para a conversão do limite de tolerância para as normas brasileiras e a avaliação de poeira para fins de insalubridade e aposentadoria especial.

No Capítulo 4 denominado “Medidas de Controle” são apresentadas as medidas relativas ao ambiente e as medidas relativas ao trabalhador.

A conclusão desta monografia foi descrita no Capítulo 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será abordada neste capítulo a importância da higiene industrial, os tipos de aerodispersóides, uma breve introdução sobre metais pesados e os tipos de doenças causadas pela inalação desses metais pesados.

2.1 Higiene Ocupacional

É a ciência e arte do reconhecimento, avaliação e controle de fatores ou tensões ambientais originados do, ou no, local de trabalho e que podem causar doenças, prejuízos para a saúde e bem-estar, desconforto e ineficiência significativos entre os trabalhadores ou entre os cidadãos da comunidade (ACGIH, 2014).

2.1.1 Objetivo da Higiene Ocupacional

O objetivo da Higiene Ocupacional tem, como finalidade, reconhecer, avaliar e controlar os fatores de riscos ambientais (agentes físicos, químicos e biológicos) presentes no meio de trabalho. Segundo (SALIBA, 2015) cada etapa é constituída de seguinte forma:

I. Reconhecimento

Consiste no reconhecimento dos agentes ambientais capazes de afetar a saúde dos trabalhadores, implicando no conhecimento profundo dos compostos envolvidos nos processos, dos métodos de trabalho, do fluxo do processo, do *layout* das instalações, do número de trabalhadores expostos etc. Aborda também o ambiente a ser estudado, e a seleção dos métodos de coleta, bem como dos equipamentos de avaliação.

II. Avaliação

A avaliação quantitativa e/ou qualitativa investiga os agentes físicos, químicos, biológicos existentes nos postos de trabalhos. Exigem-se conhecimentos de avaliação, que consistem basicamente na calibração dos equipamentos, no tempo de coleta e no tipo de análise química a ser feita. Essa etapa abrange dois ramos da Higiene Ocupacional:

- a. **Higiene de campo:** é responsável pela realização do estudo da situação higiênica no ambiente de trabalho, pela análise de postos de trabalho, detecção de contaminantes, estudo e recomendação de medidas de controle para reduzir a intensidade ou a concentração dos agentes a níveis aceitáveis, além da coleta de amostras e medições dos agentes.
- b. **Higiene analítica:** realiza as análises químicas das amostras coletadas, bem como o cálculo e as interpretações dos dados levantados no campo.

III. Controle

De acordo com os dados obtidos nas fases anteriores, esta etapa consiste em propor e adotar medidas que visam à eliminação ou à minimização dos riscos presentes no ambiente. O controle dos agentes ambientais consiste na adoção de medidas relativas ao ambiente e ao homem:

- a. **Medidas relativas ao ambiente ou medidas coletivas (Prioridade):** são medidas aplicadas na fonte ou na trajetória do contaminante, tais como substituição do produto tóxico, isolamento das partes poluentes, ventilação local exaustora, ventilação geral diluidora, limpeza dos locais de trabalho, entre outras.
- b. **Medidas administrativas:** compreendem, entre outras, a limitação do tempo de exposição, os equipamentos de proteção individual, a conscientização e o treinamento e os exames médicos (pré-admissional, periódico e dimensional).
- c. **EPI:** Não sendo possível o controle coletivo ou administrativo ou enquanto essas medidas estiverem sendo implantadas ou, ainda como complemento de proteção adotada, deve-se utilizar o Equipamento de Proteção Individual adequado aos riscos.

2.2 Classificação dos Agentes Ambientais

A NR-09 Portaria Serviço de Saúde e Segurança do Trabalho nº25 considera 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.

I. Agentes Físicos

Consideram-se agentes físicos as diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores, tais como (MTE, 1994).

- Ruído;
- Vibrações;
- Pressões anormais;
- Temperaturas extremas (calor e frio);
- Radiações (ionizantes e não ionizantes);
- Infrassom, ultrassom.

II. Agentes Químicos

Consideram-se agentes químicos as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão (MTE, 1994).

- Poeiras;
- Fumos;
- Névoas;
- Neblinas;
- Gases ou vapores.

III. Agentes Biológicos

Consideram-se agentes biológicos as bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros (MTE, 1994).

2.3 Agentes Químicos

Na higiene ocupacional os agentes químicos são os gases, os vapores e os aerodispersóides na forma de poeiras, fumos névoas, neblinas e de fibras, que se mantêm em suspensão no ar, contaminando os ambientes de trabalho e provocando desconforto, diminuindo a eficiência e a produtividade e podendo chegar até doenças com incapacitação e morte (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

Um grande número de produtos químicos é comprovadamente cancerígeno, e não deveria sequer existir limites de tolerância para tais, já que os trabalhadores não poderiam ficar expostos a eles em hipótese alguma, pois o processo cancerígeno pode originar-se em uma única célula e se espalhar por todo o organismo. O limite só existe para tornar possível a continuidade operacional (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

2.3.1 Gases e Vapores

Gás – substâncias que a 25°C e pressão de 760 mmHg encontram-se no estado gasoso. Um gás pode ser liquefeito por resfriamento ou aumento da pressão, ou por combinação de ambos os processos (SESI, 2007).

Vapor – substância normalmente é líquida ou sólida a 25°C e 760 mmHg e passa ao estado gasoso por mudanças de temperatura ou pressão, ou ambos ao mesmo tempo. Logo vapores são gases, próximos a seus respectivos pontos de condensação (SESI, 2007).

Tanto os gases quanto os vapores formam com o ar misturas consideradas soluções na atmosfera, e tendem a ocupar todo o espaço de um recipiente ou recinto.

2.3.2 Aerodispersóides

São definidos como uma reunião de partículas sólidas ou líquidas, suspensas em um meio gasoso por tempo suficiente para permitir a observação ou medição; O tamanho das partículas varia na faixa de 0,001 a 100 μm (SESI, 2007).

Tabela 2.1 - Tipos de Poeiras

Tipo de poeira	Tamanho aproximado (μm)
Sedimentável	$10 \leq \Phi \leq 150$
Inalável	$\Phi \leq 10$
Respirável	$\Phi \leq 5$
Visível	$\Phi > 40$

Fonte: SOTO, (1985).

A Tabela 2.1 descreve os tamanhos das partículas. Sendo as nocivas os tipos de poeira inalável e respirável. Os aerodispersóides se classificam em quatro tipos:

I. Poeira

São partículas sólidas produzidas por ruptura mecânica de um sólido (SALIBA, 2016). Geralmente, são maiores que 0,5 micrômetros. O sistema respiratório possui proteção contra as poeiras naturais, maiores que 10 micrômetros. Existe então, uma faixa de poeiras respiráveis, que vai de 0,5 a 10 micrômetros, e que são geradas nos processos indústrias (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

II. Fumos

São partículas sólidas resultantes da condensação de vapores ou reação química, geralmente após a volatilização de metais fundidos (SALIBA, 2016).

III. Névoas

São partículas líquidas geradas por ruptura mecânica e geralmente maiores que 0,5 micrômetros. Ocorre em operações de pulverização de líquidos, como inseticidas (SESI, 2007).

IV. Neblinas

São partículas líquidas geradas pela condensação de vapores de substâncias líquidas a temperaturas normais, sendo menores que 0,5 micrômetros (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

V. Fibras

São partículas sólidas produzidas por ruptura mecânica de sólidos que se diferenciam das poeiras por apresentarem formas alongadas, com um comprimento de 3 a 5 vezes superior ao comprimento da poeira (SALIBA, 2016).

2.4 Metais Pesados

A expressão metal pesado aplica-se a elementos que têm peso específico maior que 5 g/cm³ ou que possuem número atômico maior que 20. Na lista de metais pesados estão presentes no nosso cotidiano, com uma maior frequência, os seguintes elementos: Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pd (MALAVOLTA, 1994). Estes são classificados como:

- I. Essenciais – Cu, Fe, Mn, Mo, Zn;
- II. Benéficos – Co, Ni, V;
- III. Não essenciais, sem função ou tóxicos: Al, Cd, Cr, Hg Pb etc.

Acredita-se que os metais talvez sejam os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem. Estima-se que desde 2.000 anos A.C., grandes quantidades de chumbo eram obtidas de minérios, como subproduto da fusão da prata e isso provavelmente tenha sido o início da utilização desse metal pelo homem (CAMPOS, 2017).

Os metais pesados diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem. A atividade industrial diminui significativamente a permanência desses metais nos minérios, bem como a produção de novos compostos, além de alterar a distribuição desses elementos no planeta (CAMPOS, 2017).

A presença de metais muitas vezes está associada à localização geográfica, seja na água ou no solo, e pode ser controlada limitando o uso de produtos agrícolas e proibindo a produção de alimentos em solos contaminados com metais pesados.

Todas as formas de vida são afetadas pela presença de metais dependendo da dose e da maneira em que estão disponíveis. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo ao ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações e podem danificar sistemas biológicos (CAMPOS, 2017).

Os metais são classificados em:

1. Elementos essenciais: sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio;

2. Microcontaminantes ambientais: arsênico, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio;
3. Elementos essenciais e simultaneamente microcontaminantes: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel.

Os efeitos tóxicos dos metais sempre foram considerados como eventos de curto prazo, agudos e evidentes (CAMPOS, 2017).

2.4.1 Arsênio

Acredita-se que o nome arsênio seja derivado dos compostos denominados *sandaraché* e *sandyx* (PARTINGTON, 1935), sendo posteriormente conhecido como ouro-pigmento (As_2S_3).

O natural poder venenoso do arsênio é conhecido há muitos séculos, sendo que no século VI a.C. os romanos enviavam os condenados à morte para minas que continham, entre outros metais, arsênio, matando-os nesse ambiente contaminado (PARTINGTON, 1935). Nero, no ano 55 d.C., envenenou Britannicus com arsênio para manter o trono de Roma.

No século XVIII, o arsênio foi classificado como um semimetal devido ao conhecimento que se tinha sobre suas propriedades químicas. Em 1786, um médico inglês, Thomas Fowler, relatou o uso de uma solução de trióxido de arsênio para curar febres e dores de cabeça. Em 1809, a solução de Fowler (1% de arsenito de potássio, KAsO_2) foi oficialmente incluída na farmacopéia inglesa (BANTLEY & CHASTEEN, 2002).

No início do século XIX foram mencionados vários casos de intoxicação arsenial principalmente relacionadas a atividades ocupacionais. Naquela época o arsênio era produzido principalmente pela Inglaterra e seus principais usos eram: melhoramento do vidro e sais de chumbo, pirotecnia e em curtumes.

As atividades de fundição geram significativa contaminação na atmosfera (NELSON, 1977). O ar é o principal meio de transporte das emissões de arsênio metálico e de seus sulfetos e óxidos. O tamanho da partícula de arsênio no ar, emitida por processos de combustão, é estimada em 1 μm . A emissão depende dos métodos de filtragem usados nas indústrias. Nas vizinhanças destas indústrias foram encontradas concentrações de arsênio em torno de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 1981).

O tamanho da partícula indica que o arsênio pode permanecer na atmosfera provavelmente por períodos de meia vida maiores devidos, principalmente, a estar disponível no ambiente como uma partícula fina. A meia vida do arsênio no ar, para alguns autores, é de 7 a 10 dias (MATSHULLAT, 2000).

A doença relacionada à exposição ao arsênio por via inalatória é o câncer de pulmão. Vários estudos relatam a relação entre câncer de pulmão e exposição ocupacional ao arsênio nas minas de cobre em diversas partes do mundo (WHO, 2001).

2.4.2 Cádmio

O cádmio foi descoberto, em 1817, por F. Strohmeyer, que fazia experiências com carbonato de zinco quando descobriu que o aquecimento deste composto dava origem a um material cuja cor era amarela em vez de branca. Após um estudo concluiu que o responsável pela alteração da cor do material era óxido de um elemento até então desconhecido. Strohmeyer separou um pouco deste óxido metálico por precipitação com sulfureto de hidrogênio, e em seguida isolou o metal, chamando-o de cádmio pelo fato de ter sido extraído de cadmia, o termo para o minério calamite, rico em carbonato de zinco.

O cádmio é um metal pesado que produz efeitos tóxicos nos organismos vivos, mesmo em concentrações muito pequenas. A principal via de absorção é a inalação em meios industriais ricos em fumos e poeiras de cádmio. Uma simples exposição a elevadas concentrações de óxido de cádmio pode causar graves irritações pulmonares ou mesmo a morte. Devem ser tomados cuidados especiais em ambientes industriais que utilizem este elemento (ROCHA *et al*, 2006).

A emissão de Cd para o ambiente é mediante a incineração de plásticos e outros materiais que utilizem este metal como pigmento ou estabilizantes (ROCHA *et al*, 2006). Estimaram os teores de metais pesados em diversas frações de resíduos urbanos do Brasil e encontraram valores de Cd de 7,2 ppm, sendo os plásticos (67-77%) e as pilhas e baterias como principais fontes ,contribuindo com 45% da contaminação de cádmio nos lixos brasileiros. Cada bateria contém cerca de 5 gramas de cádmio, sendo maior parte volatilizada e emitida para o ambiente quando as baterias utilizadas são incineradas como um componente do lixo (ROCHA *et al*, 2006).

É um subproduto da mineração do zinco. O elemento e seus compostos são considerados potencialmente carcinogênicos e tem sido considerado como um fator de desenvolvimento de hipertensão e doenças do coração. A exposição acentuada via oral pode resultar em sérias irritações no epitélio gastrointestinal, náusea, vômitos, salivação e dor abdominal (BRIGDEN *et al*, 2000).

2.4.3 Chumbo

O chumbo ocorre numa variedade de minérios, sendo a galena (sulfeto de chumbo) a mais importante fonte primária de chumbo e a principal fonte comercial (WHO 1995). Ocorre geralmente associado a outros minérios, principalmente aos que contêm zinco.

Após a extração, o minério é britado e moído, podendo conter de 3 a 8% de chumbo, e concentrado por flotação diferencial. O processamento do chumbo inclui as operações de sinterização, fundição (redução) e refinamento. (BURGESS, 1995).

Quase todo o chumbo na atmosfera está ligado a finas partículas, menores que 1µm de diâmetro, embora algumas possam ser solubilizadas em pequenas gotas ácidas na forma de aerossol (névoas ou neblinas) (WHO, 1995).

Nos Estados Unidos, o Clean Air Act estabeleceu dois tipos de padrão de qualidade nacional do ar: o padrão primário, que visa estabelecer limites para proteção da saúde pública, incluindo as populações sensíveis (asmáticos, crianças e idosos), e o secundário, que propõe limites para proteção do bem estar público, incluindo proteção contra diminuição da visibilidade, danos aos animais, culturas, vegetação e construções. De acordo com o Ambient Air Quality Standards, o valor padrão (primário e secundário) para concentrações de chumbo no ar foi estabelecido em 1,5 µg/m³, média trimestral (EPA, 2000).

Os valores-guia europeus estabelecem um limite anual para o chumbo na atmosfera igual a 2 µg/m³ (LEROYER *et al.*, 2000).

No México, a Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993 estabeleceu 1,5 µg/m³ (média trimestral) como valor permissível para concentração de chumbo no ar ambiente (DUARTE, 1995).

Concentrações de chumbo no ar, próximo a fontes estacionárias onde as emissões não são controladas, como fundições de chumbo, variam de 10 µg/m³, na área da fundição, 1,5 µg/m³, numa distância de 1 km. Em estudo realizado na Bélgica, próximos a uma fundição primária de chumbo, verificaram concentrações de chumbo no ar que variam de 2,68 a 4,06 µg/m³, em distâncias menores que 1 km da fonte, e de 0,49 a 1,00 µg/m³, a 2,5 km da fonte. Foram encontradas fortes associações entre o chumbo na poeira do ar e nas mãos das crianças que viviam no entorno da área da fundição (WHO, 1995).

Os riscos potenciais da exposição ocupacional ao chumbo em fundições e refinarias de chumbo primário ou secundário são bem reconhecidos, embora em inúmeras outras ocupações os trabalhadores também possam estar altamente expostos ao chumbo.

A Tabela 2.2 apresenta limites de chumbo no ar do ambiente de trabalho estabelecidos em vários países, como uma média ponderada do tempo, para jornada de oito horas diárias ou 40 horas por semana, para refletir a exposição ocupacional diária ou semanal.

Tabela 2.2 - Limites de chumbo no ar para exposição ocupacional em vários países.

País	Nível máximo de chumbo (mg/m³)
Marrocos, Argentina, Austrália, Peru, França, Itália, Tailândia, África do Sul, Espanha	0,2
Bélgica, Canadá, Comunidade Europeia, Índia, Irlanda, México, Reino Unido	0,15
Austrália, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Israel, Japão, Holanda, Suécia, Suíça	0,1
Noruega, Estados Unidos	0,05

Fonte: Adaptado por MAYER & WILSON, (1998).

Vários países estabelecem um nível máximo de chumbo em sangue, acima do qual um indivíduo deve ser afastado do ambiente de trabalho que o expõe ao metal, até que as concentrações de plumbemia retornem a níveis aceitáveis. Com o refinamento das técnicas analíticas e o desenvolvimento do conhecimento dos níveis sob os quais os efeitos adversos ocorrem, as concentrações máximas permitidas de chumbo em sangue tendem a diminuir (MAYER & WILSON, 1998). Nas décadas de 60 e 70 eram comuns limites máximos de 100 µg/dL. Atualmente, esses níveis foram reduzidos e se encontram na faixa de 50 a 80 µg/dL em diferentes países.

2.4.4 Manganês

Desde a antiguidade, o óxido de manganês é utilizado na fabricação de vidro apesar da forma elementar ter sido isolada somente em 1774. Aproximadamente 90% do manganês produzido no mundo é utilizado para fabricação de ligas ferromanganês e ferrosiliciomanganês. Tais ligas são amplamente utilizadas em metalúrgicas, onde atuam como agentes dessulfurantes e redutores, aumentando também a resistência, rigidez e durabilidade do produto, sendo, por isso, utilizado nos trilhos dos trens (WHO, 1981).

O manganês elementar e os compostos inorgânicos de Mn tem baixa pressão de vapor. Todavia, no ar, encontram-se na forma de material particulado derivado das emissões industriais ou da erosão do solo. As partículas contendo manganês podem ser removidas da atmosfera principalmente pela força gravitacional e pelas chuvas (WHO, 1999).

Estudos indicam que 80% do manganês emitido está associado a partículas de diâmetro menor que 5 µm e aproximadamente 50% de partículas de diâmetro menor que 2

µm. Portanto, grande parte deste metal pode ser introduzido no organismo juntamente com o ar inalado. A meia vida destas partículas na atmosfera depende do seu tamanho.

O IDLH – *Immediately Dangerous to Life and Health* – limite imediatamente perigoso para a vida e para a saúde – foi definido como 500 mg/m³ (HSD B, 2000).

Um valor de referência proposto recentemente pela World Health Organization (WHO), para o metal no ar, foi de 0,15 µg Mn/m³. Este valor foi obtido de um estudo comparativo entre o comportamento de trabalhadores expostos ao dióxido de Mn, em uma fábrica de bateria alcalina, e indivíduos não ocupacionalmente expostos ao Mn. Os trabalhadores ocupacionalmente expostos apresentam incoordenação motora e retardo no tempo de reação (WHO, 1999).

2.4.5 Mercúrio

O mercúrio é um metal obtido através da ustulação de sulfetos e outros minerais. Ele é utilizado em garimpos, em antigas fábricas de cloro e soda (como catalisador em alguns processos) e em pilhas de óxido de mercúrio. Esse metal, o único líquido à temperatura ambiente, e relativamente pouco reativo, é conhecido desde a antiguidade, com referências a ele vindas dos antigos hindus e chineses (CARVALHO, 2007).

Devido à alta densidade e estabilidade ao ar, o mercúrio foi presença garantida nos laboratórios de física e química em todas as épocas, tendo possibilitado a construção de termômetros, barômetros, bombas de vácuo e outros equipamentos. Na arte, o cinábrio (HgS, principal minério de mercúrio) aparece em pinturas antigas, já que o minério é um excelente pigmento vermelho (CARVALHO, 2007).

O metilmercúrio é reconhecido como um dos poluentes ambientais mais perigosos, sendo uma preocupação em longo prazo para a saúde pública (Gandhi *et al* , 2014). Esta forma de mercúrio é conhecida por ser a mais tóxica para o organismo humano. A exposição ao ser humano pode ocorrer de variadas maneiras, através da alimentação ou de fenômenos naturais da terra (Yu, Lee, & Kim, 2012).

Na atmosfera, este elemento, encontra-se na forma de vapor de mercúrio, sendo oriundo da desgaseificação natural da crosta terrestre e de erupções vulcânicas, bem como da evaporação, tanto dos oceanos, como dos solos. É importante salientar no entanto, que fontes antropogênicas, como as indústrias, são um contributo bastante significativo para o mercúrio atmosférico.

Os padrões de transporte aéreo e de deposição de emissões de Hg dependem de vários fatores, tais como, a forma química do Hg emitido e as características da área, tais

como a topografia e a meteorologia. O vapor de mercúrio como gás monoatômico quimicamente estável, permanece na atmosfera cerca de um ano, sendo assim globalmente distribuído como “água da chuva”, podendo seguir dois caminhos distintos: pode ser reduzida, voltando assim à forma de vapor e sendo devolvido à atmosfera; ou ser metilada por ação de microrganismos presentes nos rios, lagos e oceanos, sofrendo um processo de biometilação por bactérias redutoras de sulfato, produzindo o metilmercúrio. Este, ao entrar na cadeia alimentar aquática afeta o plâncton, seguindo-se os peixes herbívoros, peixes carnívoros e os mamíferos marinhos. Posteriormente a exposição humana ocorrerá através do consumo de peixes (Liu *et al.*, 2007).

2.5 Doenças Ocupacionais Provocadas por Produtos Químicos

A doença ocupacional é aquela em que o trabalhador ficou exposto a agentes nocivos para sua saúde, sem que houvesse a proteção necessária contra eles, ou ainda, quando mesmo com a proteção, o grau de exposição foi acima do tolerável por lei, em períodos longos, médios ou curtos. Elas podem demorar anos para se manifestarem, mas quando o fazem, o quadro já está crítico.

2.5.1 Saturnismo

É uma doença ocupacional provocada pela exposição dos trabalhadores ao chumbo, em indústrias de baterias, metalúrgicas, siderúrgicas, petrolíferas, cerâmicas, gráficas, química, entre outras.

Em intoxicações agudas, verifica-se o aparecimento de náuseas, dores abdominais, vômito (que pode ter aspecto leitoso), sensação adstringente pronunciada e gosto metálico na boca. As fezes podem apresentar coloração negra em virtude da reação do chumbo com compostos sulfurados existentes nos gases intestinais. Pode ocorrer a morte do paciente em 1 ou 2 dias (KOSNETT, 2003).

A intoxicação crônica é mais frequente e caracteriza-se por manifestações variadas que ocorrem simultaneamente ou sequencialmente em vários sistemas do organismo. Inicialmente observa-se anorexia, perda de peso, apatia ou irritabilidade, vômitos ocasionais, fadiga e anemia. Posteriormente, percebe-se a falta de coordenação, dores vagas nos ombros, articulações e abdômen, irritabilidade, vômitos intermitentes, além de distúrbios sensitivos das extremidades, bem como transtornos do ciclo menstrual nas mulheres. Em um estado mais avançado da doença, aparecem ataxias, vômitos persistentes, períodos de torpor ou letargia, encefalopatia, delírios, convulsões e coma (KOSNETT, 2003).

2.5.2 Hidrargirismo

É uma doença ocupacional provocada pela exposição ao mercúrio metálico, orgânico ou inorgânico. A contaminação ocorre em ambientes como garimpos; fábricas de aparelhos de medição e de laboratórios (termômetros, barômetros, manômetros, densímetros); indústrias de lâmpadas, pilhas, medicamentos farmacêuticos (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

A principal via de penetração são os pulmões, através da inalação dos vapores metálicos. Cerca de 80% dos vapores inalados são absorvidos nos alvéolos pulmonares, em consequência da alta difusibilidade da substância (RUPPENTHAL, 2013).

Os efeitos agudos da exposição são:

- *Aparelho respiratório* – os vapores são irritantes, provocando bronquite e edema pulmonar. Surge salivação, gosto metálico, lesão renal, tremores e convulsão.
- *Aparelho digestivo* – gosto metálico na boca, sede, dor abdominal, vômito e diarreia.
- *Aparelho urinário* – lesão renal, insuficiência renal e morte.
- *Sistema nervoso* – alucinações, irritabilidade, perda de memória, confusão mental, anormalidades nos reflexos, coma e morte.
- *Pele* – irritação cutânea, edema e pústula ulcerosa nas extremidades dos dedos.

A exposição prolongada ao mercúrio elementar leva às seguintes alterações:

- *Boca* – inflamação da gengiva, que fica mole e esponjosa, dentes moles, inchaço das glândulas salivares, excesso de saliva.
- *Sistema nervoso* – tremores nos braços, nas mãos, pernas, pálpebras, nos dedos e lábios, vertigem e rubor.
- *Psiquismo* – irritabilidade, perda de memória, alucinações, perda do autocontrole, insônia, depressão, pesadelos.
- *Outras alterações* – rubor na face e lesões na pele.

No Brasil ocorreram diversos episódios de intoxicação por mercúrio em trabalhadores, na década de 80, em fabricantes de lâmpadas de mercúrio e de termômetros. (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

2.5.3 Manganismo ou Parkinson manganico

É provocado por intoxicação com manganês, metal muito utilizado na indústria siderúrgica para a fabricação de aço-Mn, de ligas para resistência elétricas e de pilhas seca.

- Efeitos agudos

Exposição a altas concentrações ambientais pode originar inflamação nos pulmões (pneumonia química). Alta incidência de pneumonia tem sido associada a concentrações acima de 210 mg de Mn/m³ no ambiente de trabalho. Posteriormente, os estudos não tem detectado pneumonia em trabalhadores expostos a níveis próximos aos padrões propostos. Efeitos colaterais, como tosse seca, náusea, dor de cabeça, fadiga, dispneia, tem sido observados após exposição a altas concentrações de óxidos de manganês (BARCELOUX, 1999).

- Efeitos crônicos

Os órgãos alvo primários, após exposições crônicas ao Mn e seus compostos, são pulmões e o cérebro.

- *Aparelho respiratório* – As propriedades inflamatórias do manganês levam ao aparecimento de tosse e bronquite, em trabalhadores expostos a níveis que excedem os padrões (BARCELOUX, 1999).

- *Sistema nervoso* – Sintomas incluem anorexia, apatia, dor de cabeça, irritabilidade e fraquezas nas extremidades. Gradualmente, disfunção do gânglio basal que se caracteriza por tremores, mudança na expressão facial e distúrbios na comunicação. Finalmente, há desenvolvimento de condições clínicas graves, como mal de Parkinson, caracterizado por tremores e rigidez muscular, entre outros (BARCELOUX, 1999).

2.5.4 Siderose

Siderose é uma pneumoconiose causada pela inalação de poeiras e fumos contendo óxidos de ferro, e pode ocorrer em trabalhadores expostos a atividades extrativas de minério de ferro, produção de pigmentos naturais, metalurgia de aço, ferro e ligas, soldadura a arco elétrico, polimento de metais com óxidos de ferro, em cutelaria de aço e prata e atividades afins (SOUZA *et al.*, 1998).

Dependendo da atividade profissional, existe exposição a outros agentes potencialmente prejudiciais, quando inalados juntamente com o ferro. Na mineração de ferro, os óxidos de ferro podem estar associados à sílica em concentrações variáveis, causando uma lesão pulmonar mista chamada siderossilicose (SOUZA *et al.*, 1998).

Está patologia normalmente não causa sintomas, sendo conhecida como pneumoconiose benigna, ou seja, é uma doença pulmonar causada pela inalação de partículas de poeira que não resulta em muitos problemas para os seus portadores (SOUZA *et al.*, 1998).

Os metais são necessários para o desenvolvimento da humanidade, usados desde a antiguidade em armas, construções, medicamentos e também essenciais para a manutenção da homeostase celular no nosso organismo, como é o caso do ferro, zinco, cobalto e manganês. No entanto, a exposição excessiva a esses mesmos metais pode levar a graves estados patológicos. Existem metais que mesmo uma pequena quantidade absorvida podem causar danos irreversíveis e até a morte.

Como consequência desses fatos, se torna imprescindível o rigoroso controle, a prática de limites de tolerância para os metais que podem ser suportados em pequenas quantidades e o limite zero para os metais em que a mínima exposição podem causar graves danos à saúde.

3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

O objetivo principal e fundamental da Higiene Ocupacional é a prevenção das doenças profissionais causadas por agentes nocivos presentes no ambiente de trabalho.

Para cumprir com este objetivo, a Higiene Ocupacional está continuamente aprimorando e desenvolvendo metodologias que, através da detecção, quantificação e controle dos possíveis contaminantes presentes no ambiente de trabalho, diminuem os riscos e evitam o desenvolvimento das doenças.

3.1 Amostragem de Aerodispersóides

Os instrumentos de amostragem são meios técnicos pelo qual o particulado pode ser coletado, dentro das convenções adotadas para amostragem. As amostragens são realizadas com auxílio de um conjunto de amostrador, composto de:

- uma bomba de amostragem
- um porta filtro, contendo o filtro adequado para o tipo de poeira que se pretende coletar.
- um separador de partículas caso se deseje coletar poeira em uma faixa de tamanho específico.

Para efeito de avaliação ocupacional do trabalhador o conjunto amostrador deve simular a respiração humana, fazendo com que o ar carregado de partículas passe através de um dispositivo que retenha as partículas que provavelmente se depositariam no trato respiratório. A bomba de amostragem aspira o ar contaminado fazendo-o passar pelo separador de partículas, que seleciona as partículas que se deseja estudar por faixa de tamanho, deixando-as passar para um filtro coletor que as retém (SANTOS 2001).

3.1.1 Bomba de amostragem

Instrumento portátil e leve, que fornece uma vazão de até 6,0 L/min, com bateria recarregável e blindada contra explosão. A bomba deve possuir um sistema automático de controle de vazão afim de mantê-la constante, com uma pequena variação $\pm 5\%$ durante o tempo de coleta. O valor da vazão de amostragem é selecionado de acordo com a metodologia específica adotada para cada tipo de poeira que se pretende coletar e do tipo de separador de partículas utilizado (FUNDACENTRO, 2009).



Figura 3.1 - Bomba de amostragem de poeiras e gases
Fonte: Skill-Tec (2017).

3.1.2 Meio de Coleta

A filtração é a técnica mais utilizada para a coleta de aerodispersóides. Meios filtrantes de muitos tipos e com variadas propriedades são fabricados para atender aos requisitos de amostragem e análise de aerodispersóides específicos (SANTOS, 2001).

Os filtros de membrana, fabricados em vários materiais, diâmetros e tamanhos de poro, são os meios mais usados para a amostragem de particulados. São produzidos como uma camada contínua de material, normalmente um polímero, com poros de tamanho uniforme, determinados com precisão. O número de poros desses filtros é bastante alta, ocupando aproximadamente de 70 a 80% da superfície do filtro, permitindo razoável taxa de fluxo de ar enquanto a perda de carga do filtro ainda é pequena. Uma vez que as partículas são coletadas na região da superfície do filtro, os poros tendem a ser obstruídos rapidamente, aumentando a perda de carga do filtro devido à resistência à passagem do ar (SANTOS, 2001).

Os filtros de membrana não são indicados nos casos onde grandes volumes de ar contendo partículas grossas e pesadas precisam ser amostrados. Por outro lado, esses filtros

são muito úteis para vários tipos particulares de análise devido às suas propriedades de seleção por tamanho ou composição química (SANTOS, 2001).

3.1.2.1 Seleção do filtro

A análise química das partículas coletadas por filtração é diretamente influenciada pelo filtro escolhido. Se o filtro é calcinado como parte da análise, então um baixo conteúdo de cinzas será um critério para a seleção do filtro. Se o filtro deve ser dissolvido durante a análise, então é necessário conhecer sua solubilidade em vários reagentes (MURPHY, 1984).

Para as análises de particulados utilizando a microscopia ótica é necessário conhecer as características óticas do filtro, como índice de refração e cor, e reatividade com substâncias que possam torná-lo transparente. Para análises por microscopia eletrônica, é necessário que o filtro seja plano e liso para permitir uma boa visualização das partículas contra o fundo do filtro. Análise gravimétrica pede que o filtro tenha pequena massa por unidade de área, além de baixa higroscopicidade (MURPHY, 1984).

A maioria dos fabricantes fornecem tabelas contendo informações sobre as características de seus filtros, tais como diâmetro dos poros, espessura, massa por unidade de área, solubilidade e tempo de dissolução, conteúdo de cinzas, eficiência de coleta, e mais. A composição química é fornecida para alguns tipos de filtros selecionados (MURPHY, 1984). A Figura 3.2 mostra um exemplo de meio de coleta.



Figura 3.2 - Dispositivo de coleta para particulado total (cassete)
Fonte: FUNDACENTRO, (2009).

Legenda:

- A. Parte inferior do porta-filtro.
- B. Anel de vedação.
- C. Suporte do filtro.
- D. Filtro de membrana.

- E. Parte central do porta-filtro.
- F. Parte superior do porta-filtro com orifício de entrada de 4mm.
- G. Tampa do porta-filtro.
- H. Plugue.

3.1.3 Sistema Separador de Tamanho de Partículas (Ciclone)

Quando há necessidade de separação de partículas para avaliação da exposição dentro de uma faixa de tamanhos pré-determinada, como no caso de poeira inalável, torácica e respirável, utiliza-se um dispositivo que pode ser acoplado a um porta-filtro que contém o filtro de membrana adequado para a coleta das partículas selecionadas ou o próprio seletor pode abrigar diretamente um ou mais filtros de membrana (SANTOS, 2001).

O ciclone é o separador de partículas mais antigo utilizado para a separação de partículas na faixa respirável, podendo ser encontrado em diversos tipos de materiais e formatos. O ciclone funciona de maneira semelhante a uma centrífuga. A rápida circulação de ar dentro de sua câmara separa as partículas de poeira de acordo com seu diâmetro aerodinâmico equivalente. As partículas de poeira respirável são coletadas sobre um filtro enquanto as partículas maiores são recolhidas em um recipiente acoplado ao ciclone (SANTOS, 2001).

3.1.3.1 Fração Respirável

Para separação de partículas, é utilizado um ciclone com a função de selecioná-las de acordo com suas dimensões, isto é, as partículas maiores de 10 μm não passam pelo filtro na amostragem da fração respirável. Essa separação obedece à curva de penetração das partículas no trato respiratório, conforme a Tabela 3.1 (SALIBA, 2016).

Tabela 3.1 - Percentual de separação em função do tamanho das partículas respiráveis.

Diâmetro aerodinâmico da partícula (μm)	Massa de particulado respirável (%)
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	09
8	05
10	01

Fonte: ACGIH, (2014)

A Figura 3.3 mostra o separador de fração respiráveis, conforme a Tabela 3.1.



Figura 3.3 - Amostrador para coleta de material particulado respirável
Fonte: RTX Ambiental (2017).

3.1.3.2 Fração Inalável

Na amostragem de partículas na fração inalável, ou seja, aquelas que oferecem risco quando depositadas em qualquer lugar do trato respiratório, essa separação é feita conforme a Tabela 3.2 (SALIBA, 2016).

Tabela 3.2 - Percentual de separação em função do tamanho das partículas inaláveis.

Diâmetro aerodinâmico da partícula (μm)	Massa de particulado inalável (%)
0	100
1	97
2	94
5	87
10	77
20	65
30	58
40	54,5
50	52,5
100	50

Fonte: ACGIH, (2014).

Na medição da poeira inalável, o meio de coleta utilizado é o filtro de 25 mm montado no dispositivo de separação de acordo com a Tabela 3.2, conforme ilustrado na Figura 3.4.



Figura 3.4 - Dispositivo de coleta tipo IOM para particulado inalável.
Fonte: FUNDACENTRO (2009).

Legenda:

- C. Parte inferior do porta-filtro.
- D. Anel de vedação.
- I. Suporte do filtro.
- J. Filtro de membrana.
- K. Parte central do porta-filtro.
- L. Parte superior do porta-filtro com orifício de entrada de 4mm.
- M. Tampa do porta-filtro.
- N. Plugue.

3.1.3.3 Fração Torácica

Na amostragem de partículas na fração torácica, ou seja, aquelas que oferecem risco quando depositadas em qualquer lugar no interior da via aéreas do pulmão e na região de troca de gases, essa separação é feita de acordo com a Tabela 3.3 (SALIBA, 2016).

Tabela 3.3 - Percentual de separação em função do tamanho das partículas torácicas.

Diâmetro aerodinâmico da partícula (μm)	Massa de particulado torácico (%)
0	100
2	94
4	89
6	80,5
8	67
10	50
12	35
14	23
16	15
18	9,5
20	6
25	2

Fonte: ACGIH, (2014).

Na medição da poeira torácica, o meio de coleta utilizado é o filtro de 37 mm montado no dispositivo de separação, de acordo com a Tabela 3.3. A Figura 3.5 ilustra este tipo de separador.



Figura 3.5 - Dispositivo de coleta para particulado torácico e respirável.
Fonte: FUNDACENTRO (2009).

Legenda:

- A. Suporte para o dispositivo de coleta.
- B. Parte inferior do porta-filtro.
- C. Suporte do filtro.
- D. Filtro de membrana.
- E. Anel central do porta-filtro.
- F. Separador de partículas.
- G. Porta-resíduos.

3.2 Legislação Ocupacional para Aerodispersóides

A portaria n. 3.214/78, NR-15 do MTE, que estabelece critérios para a caracterização de insalubridade, fixa limites de tolerância para alguns tipos de particulados. Outros tipos também prejudiciais à saúde foram relacionados no Anexo 13 da referida norma, como avaliação qualitativa, ou seja, a possível insalubridade deverá ser verificada por meio de inspeção realizada no local.

Os limites adotados pela NR-15 foram baseados pela ACGIH de 1978. Todavia, a ACGIH anualmente revisa e atualiza seus limites de tolerância. Além disso, a maioria dos particulados mencionados no Anexo 13 da NR-15 possui limites de tolerância na ACGIH e portanto deveriam ser adotados pela referida norma.

3.2.1 Limites de Tolerância na NR-15. Portaria n.3.214/78 do TEM

A. Chumbo

O Anexo 11 da NR-15, Portaria n. 3.214, estabelece o limite de tolerância de 0,1 mg/m³ para chumbo, independente da forma em que ele se encontra no ambiente (poeira ou fumo metálico).

B. Mercúrio

O Anexo 11 da NR-15, Portaria n. 3.214, estabelece o limite de tolerância de 0,04 mg/m³ para mercúrio, em todas as formas exceto orgânicas.

C. Manganês

O Anexo 12 da NR-15, Portaria n. 3.214, estabelece os seguintes limites de tolerância para manganês:

- 5,0 mg/m³: para exposição à poeira de manganês e seus compostos nas operações de extração, moagem, transporte de minério, dentre outros.
- 1,0 mg/m³: para exposição a fumos de manganês e seus compostos, nas operações de fabricação de baterias de pilhas secas, vidros especiais e cerâmicas.

A norma estabelece também que, quando os limites de tolerância forem ultrapassados, as atividades com manganês e seus compostos serão considerados insalubres de grau máximo.

D. Outros Particulados

O anexo 13 da NR-15, Portaria n. 3.214, estabelece como insalubres, pelo método de inspeção no local de trabalho, as atividade ou operações que envolvam compostos tóxicos.

3.2.2 Limites de Tolerância Recomendados pela ACGIH

Como dito anteriormente, a NR-15 não estabelece limites de tolerância para vários tipos de partículas, e, até mesmo foram omitidos outros importantes particulados do ponto de vista ocupacional, como por exemplo, algodão e madeira.

Os limites da ACGIH são aceitos cientificamente no Brasil para fins de controle dos riscos ambientais.

Vale ressaltar, que adoção dos limites de tolerância da ACGIH devem ser corrigidos por meio da fórmula BRIEF & SCALA, uma vez que a jornada de trabalho no Brasil é de 8 horas diárias e 44 horas semanais, enquanto os limites da ACGIH são para jornadas de 8 horas por dia e 40 horas semanais (SALIBA, 2016).

O fator de redução do limite de tolerância BRIEF & SCALA, conforme Equação 3.1 é o seguinte:

$$FR = \frac{40}{h} \times \frac{168-h}{128} \quad (3.1)$$

Em que:

FR = Fator de Redução

h = Jornada de trabalho em horas

Na Tabela 3.4 estão descritos alguns limites para partículas recomendados pela ACGIH, devidamente corrigidos (SALIBA, 2016).

Tabela 3.4- Limites de tolerância recomendados pela ACGIH para alguns tipos de particulados.

Substância	LT mg/m ³	LT corrigido mg/m ³	Observações
Poeira de Madeira (Cedro Vermelho do oeste)	0,50	0,44	Limite para fração inalável, Outros tipos de madeira (cancerígenas), como, por exemplo, o carvalho, A ACGIH não recomenda limite.
Poeira de outras espécies de madeira	1,00	0,88	
Cimento Portland	1,00	0,88	Limite para fração respirável que não contenha asbestos e com percentual de sílica livre cristalizada inferior a 1%
Poeira de algodão, bruto, sem tratamento.	0,10	0,09	Limite recomendado para fração torácica
Cereais(aveia, cevada, trigo)	4,00	3,52	Poeira contendo material particulado total que não contenha asbestos e com percentual de sílica livre cristalizada inferior a 1%
Grafite (todas as formas exceto fibras de grafite)	2,00	1,76	Limite de tolerância para fração respirável.
Poeira de carvão	0,40	0,35	Limite de tolerância para fração respirável.
Poeira de carvão betuminoso	0,90	0,79	
Poeira e névoas como cobre	1,00	0,88	Limite para particulado total
Fumos de cobre	0,20	0,18	Limite para particulado total
Ferro, óxido (Fe ₂ O ₃)	5,00	4,40	Limite para particulado na fração respirável.
Poeira de farinha	0,50	0,44	Limite de tolerância para fração torácica.
Caulim	2,00	1,76	Limite para fração respirável que não contenha asbestos e com percentual de sílica livre cristalizada inferior a 1%
Talco sem fibra de asbestos	2,00	1,76	Limite para fração respirável e com percentual de sílica livre cristalizada inferior a 1%

Fonte: ACGIH, (2014).

3.3 Procedimento de avaliação de fumos e poeiras metálicas

A avaliação das poeiras e fumos metálicos geralmente é realizada sem separação do tamanho das partículas. No entanto, ACGIH recomenda para alguns metais, como óxidos de zinco, limites de tolerância na fração respirável mostrado na Tabela 3.5, utilizando nesses casos, o ciclone (SALIBA, 2016).

Tabela 3.5- limite para exposição ocupacional para diversos metais

Particulados metálicos	LT (mg/m³)	LT corrigido (mg/m³)
Cobre		
a) Fumos	0,20	0,18
b) Poeiras e névoas	1,00	0,88
Óxidos de Zinco – fração respirável	2,00	1,76
Alumínio metal e compostos insolúveis – fração respirável	1,00	0,88
Óxido de ferro - fração respirável	5,00	4,40
Cromo e compostos		
a) Metal e compostos de Cromo Cr III	0,50	0,44
b) Compostos de Cr VI solúveis em água	0,05	0,04
c) Compostos de Cr VI insolúveis em água	0,01	0,0088
Níquel, como Ni		
a) Metal elementar	1,50	1,32
b) Compostos inorgânicos solúveis	0,10	0,088
c) Compostos inorgânicos insolúveis	0,20	0,18

Fonte: ACGIH, (2014).

Os instrumentos utilizados na avaliação são basicamente os mesmo da poeira, exceto o filtro, que nas amostragens de metais deve ser constituído de éster de celulose de 0,8 µm de poro (SALIBA, 2016).

Procedimento de avaliação de fumos e poeiras metálicas.

1º Etapa – Preparação do filtro

Preparação do filtro, que não precisa ser pesado. O filtro deverá ser codificado, instalado no porta-filtro e vedado com banda de celulose ou teflon, em uma operação no ambiente adequado com a utilização de pinças.

2º Etapa – Amostragem de campo

- Calibrar a bomba na vazão adequada. O método NIOSH 7303 recomenda vazão de coleta de 1 a 4 L/min. Geralmente é utilizada a vazão de 1,5 L/min.

- Colocar a bomba na cintura do trabalhador, prender o filtro na gola da camisa conforme a Figura 3.6, e anotar o tempo inicial.



Figura 3.6 - Bomba gravimétrica ligada ao ciclone de fração respirável e meio de coleta.
Fonte: FUNDACENTRO (2009).

- Acompanhar a amostragem de modo a observar e analisar o funcionamento da bomba, possível mascaramento da amostra, principais fontes de geração de poluentes; medidas de controle existentes e medidas a serem adotadas.

- O tempo de amostragem é definido em função da sensibilidade do método analítico, quantidade de geração do poluente, entre outros.

- Após o término da coleta, marcar o tempo final e aferir a calibração da bomba para o cálculo da vazão média.

3º Etapa – Laboratório – Análise de metais

- As amostras coletadas no filtro serão analisadas por espectrometria de absorção atômica ou espectrometria de emissão ótica por plasma, conforme método NIOSH 7303.

Uma fonte de energia de radiação característica é necessária para a determinação de cada metal. A absorção da energia característica pelos átomos na chama é função da concentração do metal na amostra (SALIBA, 2016).

- O laboratório, após análise dos elementos metálicos, determinará a massa de cada metal (em mg ou μm) presente na amostra.

4º Etapa – Análise dos dados

No caso de metais, o laboratório possui um nível de detecção para cada tipo de substância. Normalmente esses limites de detecção são bastante baixos, isto é, uma pequena quantidade de amostra é suficiente para determinar elementos metálicos. Quando a massa do metal for inferior ao limite de detecção, o procedimento recomenda a realização de outra coleta ou usar a metade do valor.

1 – O Volume e vazão obtidos:

A vazão é calculada pela Equação 3.2.

$$Q_m = \frac{Q_i + Q_f}{2} \quad (3.2)$$

Em que:

Q_m = Vazão média, L/min

Q_i = Vazão inicial, L/min

Q_f = Vazão final, L/min

O volume amostrado é calculado usando a Equação 3.3:

$$V_a = \frac{Q_m \cdot T_a}{1000} \quad (3.3)$$

Em que:

T_a = Tempo de amostragem, min

V_a = Volume de amostragem, m³

A constante 1000 é fator de transformação do volume em litros para m³.

2 – A Concentração de metais é obtida da seguinte forma:

A concentração de metais é obtida pela Equação 3.4.

$$C = \frac{M}{V_a} \quad (3.4)$$

Em que:

C = Concentração do metal, mg/m³

M = Massa do metal, mg

V_a = Volume da amostragem, m³

Efeitos combinados

Quando duas ou mais substâncias tiverem efeitos toxicológicos similares sobre o mesmo sistema orgânico ou órgão, deverão ser considerados em conjunto. Na ausência de informações contrárias, substâncias diferentes que produzem o mesmo efeito sobre a saúde e atingem o mesmo órgão ou sistema devem ser considerados como aditivas (ACGIH, 2014), de acordo com a Equação 3.5.

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (3.5)$$

Em que:

C_n = Concentração da substância metal

T_n = Limite de exposição da substância

3.4 Avaliação de Poeira para Fins de Insalubridade e Aposentadoria Especial

3.4.1 Insalubridade

Conforme descrito anteriormente, a NR-15 da Portaria n. 3.214 estabelece limites de tolerância para asbestos, sílica livre cristalizada, negro de fumo, manganês e chumbo. Desse modo, a caracterização da possível insalubridade por esses agentes só poderá ser constatada por intermédio de avaliação quantitativa. No Anexo 13 da referida norma, são mencionadas atividades e operações envolvendo outros tipos de particulados, em que a caracterização da insalubridade será determinada por meio de avaliação qualitativa, isto é, por inspeção realizada no local de trabalho. Certos tipos de particulados foram omitidos pela regulamentação do Ministério do Trabalho (NR-15), como, por exemplo, poeira de algodão e madeira. Sendo assim, mesmo ocorrendo à exposição prejudicial à saúde a esses agentes, não é possível a caracterização da insalubridade, uma vez que o art. 190 da CLT, Súmula nº 460 do Supremo Tribunal Federal e Orientação Jurisprudencial nº 4 do TST, determinam como pressuposto da insalubridade o seu enquadramento nas normas do Ministério do Trabalho (SALIBA, 2016).

Outro fator que dificulta a avaliação de particulados, em perícias judiciais de insalubridade, é o custo (SALIBA, 2016).

3.4.2 Aposentadoria especial

Para configuração da atividade como especial, o Decreto n. 3.048/99 estabelece ainda que o direito ao benefício será devido quando a exposição do trabalhador ao agente nocivo presente no ambiente de trabalho e no processo produtivo forem em concentrações superiores aos limites de tolerância estabelecidos (SALIBA, 2016).

Portanto, os efeitos causados pelas exposições a agentes químicos a curto ou longo prazo nos ambientes de trabalho são levados em consideração para o estabelecimento dos limites de exposição ocupacional (LEOs). Os critérios para definição de LEOs variam de uma instituição para outra e apenas em alguns casos eles têm valor legal em seus países. Como a maioria dos LEOs são atualizados periodicamente, deve-se procurar sempre as referências mais atuais em sua consulta. A tendência geral é que os valores fiquem cada vez menores, pois a ciência vai desvendando efeitos nocivos de substâncias em concentrações cada vez mais baixas. No Brasil, os LEOs são denominados “Limites de Tolerância” (LTs), sendo definidos 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, e estão estabelecidos nos Anexos 11 e 12 da Norma Regulamentadora nº 15 do Ministério do Trabalho e Emprego, atrelados à questão da insalubridade. Várias organizações e governos de outros países também estabelecem esses parâmetros para uma exposição “segura”.

4 MEDIDAS DE CONTROLE

4.1 Medidas Relativas ao Ambiente

4.1.1 Substituição do Produto Tóxico ou Nocivo

Este procedimento técnico nem sempre é possível, em vista do pouco avanço tecnológico e científico em que se encontra o parque industrial brasileiro, mas, quando possível, é a maneira mais segura de eliminar ou minimizar o risco de exposição (SALIBA, 2016).

4.1.2 Mudanças ou Alteração do Processo ou Operação

Consiste na alteração do processo de produção, por exemplo:

- Utilização de pintura por imersão, em vez de pintura utilizando pistola.
- Mecanização e automatização de processos – ensacamento de pós.

4.1.3 Encerramento ou Enclausuramento da Operação

Consiste no confinamento da operação, objetivando, assim, impedir a dispersão do contaminante para todo o ambiente de trabalho. O confinamento pode ou não incluir o trabalhador. Quando o trabalhador estiver inserido no enclausuramento, deverá ser obrigatoriamente fornecido equipamento adequado de proteção pessoal, independentemente de haver ou não sistema de exaustão (SALIBA, 2016).

4.1.4 Segregação da Operação ou Processo

Consiste, basicamente, no isolamento da operação, limitando seu espaço físico fora da área de produção. Normalmente utiliza-se este controle quando não se pode mudar o processo produtivo, e o agente agressivo atinge outros trabalhadores, contaminando-os, sem que eles participem da operação (SALIBA, 2016).

A adoção desse processo visa diminuir o número de trabalhadores expostos aos riscos, sem, contudo, deixar de levar em conta que os trabalhadores expostos ao risco deverão necessariamente fazer uso de medidas de proteção individual (SALIBA, 2016).

A segregação pode ser feita no espaço ou no tempo. Segregação no espaço consiste em isolar o processo a distância. Segregação no tempo significa executar uma tarefa fora do horário normal, reduzindo igualmente o número de trabalhadores expostos (SALIBA, 2016).

4.1.5 Umidificação

A umidificação de poeira com água é provavelmente o mais antigo método de controle. Ele foi utilizado na indústria de cerâmica inglesa há 250 anos. A eficiência desse método depende de dois fatores: do umedecimento da poeira e de sua adequada disposição depois de molhada (MESQUITA, 1977).

Como aplicações clássicas desse método, podem ser citadas a utilização de água nas operações de perfuração em minas e a aspersão de água sobre as mandíbulas de britadores. O Ministério do Trabalho determina que as máquinas e ferramentas utilizadas nos processos de corte e acabamento de rochas ornamentais devem ser dotadas de um sistema de umidificação capaz de minimizar ou eliminar a geração de poeira decorrente de seu funcionamento (Portaria n. 43, de 11 de março de 2008 do MTE).

4.1.6 Ventilação Geral Diluidora

A ventilação geral diluidora é um método de insuflar ar em um ambiente ocupacional, ou de exaurir ar desse ambiente, ou ambos, a fim de promover uma redução na concentração de poluentes nocivos. Essa redução ocorre pela introdução de ar limpo ou não poluído em um ambiente contendo certa massa de determinado poluente, fazendo com que essa massa seja dispersa ou diluída em um volume maior de ar, reduzindo, portanto, a concentração desses poluentes. Uma observação a ser feita é a de que esse método de ventilação não impede a emissão dos poluentes (OLIVEIRA, 2017).

Os objetivos de um sistema de ventilação geral diluidora podem ser:

- Proteção da saúde do trabalhador, reduzindo a concentração de poluentes nocivos abaixo do limite de tolerância.
- Segurança do trabalhador, reduzindo a concentração de poluentes explosivos ou inflamáveis abaixo dos limites de explosividade e inflamabilidade.
- Conforto e eficiência do trabalhador, pela manutenção da temperatura e umidade do ar ambiente.

- Proteção de materiais ou equipamentos, mantendo condições atmosféricas adequadas.

Nos casos em que não é possível, ou não é viável, a utilização de ventilação local exaustora, a ventilação geral diluidora pode ser usada (OLIVEIRA, 2017).

A aplicação, com sucesso, de ventilação geral diluidora depende das seguintes condições:

- O poluente gerado não deve estar presente em quantidade superior a que pode ser diluída com um adequado volume de ar.
- A distância entre os trabalhadores e o ponto de geração do poluente deve ser suficiente para assegurar que os trabalhadores não estarão expostos a concentrações médias superiores ao limite de tolerância.
- A toxicidade do poluente deve ser baixa ($LT > 500$ ppm).
- O poluente deve ser gerado em quantidade razoavelmente uniforme.

A ventilação geral diluidora, além de não interferir com as operações e processos industriais, é mais vantajosa que a ventilação local exaustora nos locais de trabalho sujeitos a modificações constantes e nos quais as fontes geradoras de poluentes se encontram distribuídas no local de trabalho. Seu custo de instalação é relativamente baixo quando comparado com o da ventilação local exaustora e é conveniente quando há interesse na movimentação de grandes volumes de ar na estação quente (OLIVEIRA, 2017).

Diversas razões levam a não utilização freqüente deste tipo de ventilação para poeiras e fumos. A quantidade de material gerado é usualmente muito grande, e sua dissipação pelo ambiente é desaconselhável. Além disso, o material pode ser muito tóxico, requerendo, portanto, uma excessiva quantidade de ar de diluição (OLIVEIRA, 2017).

4.1.7 Ventilação Local Exaustora

A ventilação local exaustora tem como objetivo principal captar os poluentes de uma fonte (gases, vapores ou poeiras tóxicas) antes que os mesmos se dispersem no ar do ambiente de trabalho, ou seja, antes que atinjam a zona de respiração do trabalhador. A ventilação de operações, processos e equipamentos, dos quais emanam poluentes para o ambiente, é uma importante medida de controle de riscos (OLIVEIRA, 2017).

De forma indireta, a ventilação local exaustora também influi no bem-estar, na eficiência e na segurança do trabalhador, por exemplo, retirando do ambiente uma parcela do calor liberado por fontes quentes que eventualmente existam. Também no que se refere ao

controle da poluição do ar da comunidade, a ventilação local exaustora tem papel importante. A fim de que os poluentes emitidos por uma fonte possam ser tratados em um equipamento de controle de poluentes (filtros, lavadores etc.), eles têm de ser captados e conduzidos a esses equipamentos, e isso, em muitos casos, é realizado por esse sistema de ventilação. Desta forma parece que a ventilação local é mais eficiente, porém na prática, nem sempre é possível aplicá-la (OLIVEIRA, 2017).

A Figura 4.1 mostra um esquema de instalação de um sistema de ventilação local exaustora.

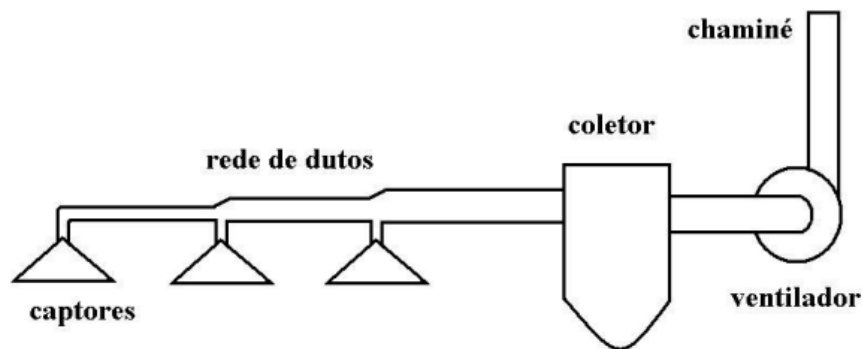


Figura 4.1 - Esquema de um sistema de ventilação local exaustora.
Fonte: Oliveira (2017), modificado.

Um sistema de ventilação local exaustora deve ser projetado dentro dos princípios de engenharia, ou seja, de maneira a se obter maior eficiência com menor custo possível. Por outro lado, deve-se lembrar de que, na maioria dos casos, o objetivo desse sistema é a proteção da saúde do homem. Assim, essa deve ser considerada a prioridade, e todos os demais fatores devem estar condicionados a ela (OLIVEIRA, 2017).

O enclausuramento de operações ou processos e a direção do fluxo de ar, entre outros fatores, são condições básicas para uma boa captação e exaustão dos poluentes. A ACGIH possui padrões de exaustão da maioria dos processos e operações industriais, com forma e dimensões normalizadas (OLIVEIRA, 2017).

- a) Enclausuramento – Enclausuração da operação quanto possível. Quanto maior o enclausuramento, menor será a quantidade de ar requerida pela exaustão Figura 4.2.

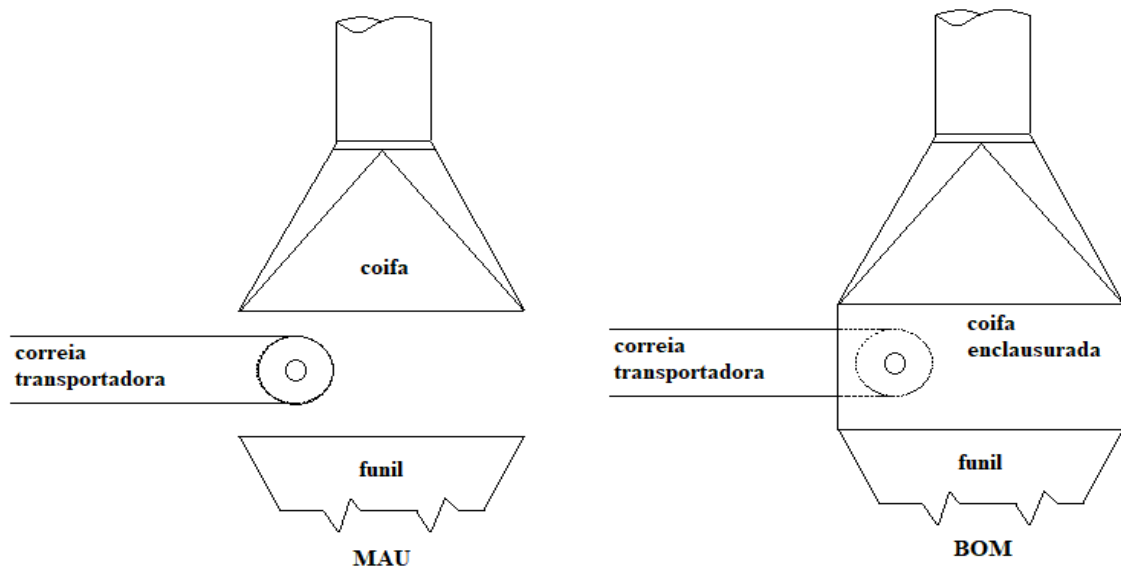


Figura 4.2 - Princípios de exaustão – enclausuramento
Fonte: ACGIH (2014).

- b) Direção do fluxo de ar – Localizar o captor de maneira que o contaminante não atinja a zona de respiração do trabalhador Figura 4.3.

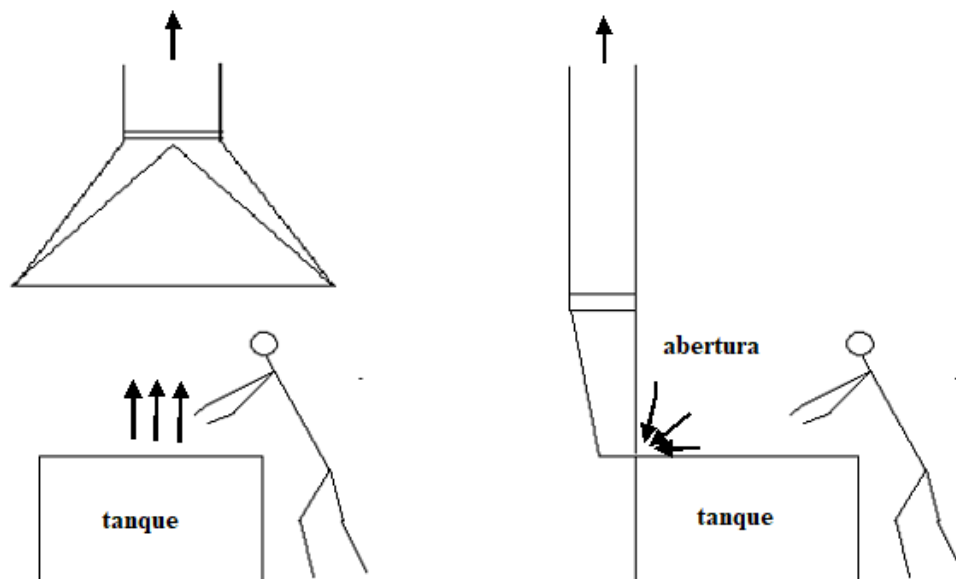


Figura 4.3 - Princípios de exaustão – direção fluxo de ar
Fonte: ACGIH (2014).

4.1.7.1 Captores

São pontos de captura de poluentes, que, dimensionados convenientemente para uma fonte poluidora, irão enclausurar parte da fonte e, com um mínimo de energia. Esses captores devem ser introduzidos, na zona de emissão de poluentes, correntes de ar em velocidade tais que assegurem que os poluentes sejam carregados pelas mesmas para dentro deles (OLIVEIRA, 2017).

4.1.7.2 Sistemas de dutos

Uma linha de dutos deverá ser instalada de acordo com o layout geral da fábrica, interligando captore (coifas) ao sistema de coleta. Esta linha deverá ser do menor comprimento possível, a fim de minimizar a perda de carga, consumindo dessa forma menos energia. Isto significa que o sistema de coleta constituído por um exaustor-coletor deverá ser instalado o mais próximo possível dos pontos de captação (coifas ou captore) (OLIVEIRA, 2017).

Para o dimensionamento de dutos e captore, bem como das singularidades ao longo deles, o projetista deverá levar em consideração as vazões necessárias para cada captor, velocidade de transporte recomendada para o trecho principal dos dutos e as devidas perdas de carga, a fim de determinar a potência do motor e ventilador, bem como das seções dos dutos (OLIVEIRA, 2017).

4.1.7.3 Ventiladores

A função básica de um ventilador é mover uma dada quantidade de ar por um sistema de ventilação a ele conectado. Assim, o ventilador deve gerar uma pressão estática suficiente para vencer as perdas do sistema e uma pressão cinética para manter o ar em movimento (OLIVEIRA, 2017).

4.1.7.4 Coletore de contaminante

Os equipamentos coletore de contaminante, também conhecidos como equipamentos de controle de poluição, ECP, destinados a reter o contaminante após ser capturado junto à fonte geradora, têm a sua utilização justificada por vários motivos, destacando-se:

- Evitar a poluição atmosférica próxima às indústrias que geram ou transportam materiais particulados, gases ou vapores;
- Evitar o risco de incêndios, no caso de o contaminante ser inflamável, ou contaminação, no caso de o contaminante ser tóxico;
- Recuperação do material particulado, gás ou vapor, no caso de apresentarem valor econômico;
- Separação e classificação granulométrica do material particulado gerado, com o intuito de se diminuir custos de transporte, como, por exemplo, no transporte pneumático, correias transportadoras, elevadore de caneca, etc.

- Reutilização de ar previamente tratado, como, por exemplo, em salas limpas, transporte pneumático de materiais higroscópicos, etc.
- Evitar o desgaste do sistema por abrasão pela retenção de particulados grandes.

A separação e a coleta dos contaminantes da corrente de ar podem ser obtidas por ações físicas, químicas ou ainda pela combinação de ambas, dependendo do processo envolvido (OLIVEIRA, 2017).

4.2 Medidas Relativas ao Homem

4.2.1 Limitação do Tempo de Exposição

A redução dos períodos de trabalho é uma importante medida de controle quando todas as outras medidas possíveis forem impraticáveis ou insuficientes na contenção e tratamento de um agente tóxico (SALIBA, 2016).

4.2.2 Educação e Treinamento

A conscientização do trabalhador quanto aos riscos inerentes às operações, riscos ambientais e formas operacionais adequadas que garantam a efetividade das medidas de controle adotadas (SALIBA, 2016).

4.2.3 Equipamento de Proteção Respiratório

O uso de EPR tem como objetivo principal prevenir a exposição por inalação de substâncias perigosas e/ou ar com deficiência de oxigênio. Quando não for possível prevenir a exposição ocupacional, o controle da exposição adequada deve ser alcançado, tanto quanto possível, pela adoção de outras medidas de controle que não o uso de EPR. Medidas de controle de engenharia, tais como, substituição de substâncias por outras menos tóxicas, enclausuramento ou confinamento da operação e sistema de ventilação local ou geral e medidas de controles administrativos, como a redução do tempo de exposição, devem ser consideradas. O uso de EPR é considerado o último recurso na hierarquia das medidas de controle e deve ser adotado somente após cuidadosa avaliação dos riscos. Existem situações, entretanto, nas quais ainda pode ser necessário o uso de um respirador, tais como (TORLONI, 2016):

- a) Outras medidas de controle já foram adotadas, mas a exposição à inalação não está adequadamente controlada;

- b) A exposição por inalação excede os limites de exposição e as medidas de controle necessárias estão sendo implantadas;
- c) A exposição por inalação é ocasional e de curta duração, sendo impraticável a implantação de medidas de controle permanentes (por exemplo, em trabalhos de manutenção, de emergência, fuga e resgate).

Nas operações em que as concentrações de poluentes são superiores ao limite de tolerância, devem ser usados respiradores de filtro químico (gases e vapores) e mecânico (fumos, poeiras, etc.). Nos locais onde há a presença de gases e poeira, devem ser usados respiradores de filtro combinado (TORLONI, 2016).

Os respiradores devem ser usados obrigatoriamente, durante todo o tempo de exposição. A não utilização do protetor em curto espaço de tempo diminui significativamente o seu fator de proteção. Se a concentração é superior a 10 vezes o limite de tolerância, o trabalhador deve usar máscara com fator de proteção superior a 10 de acordo com a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Fatores de proteção respiratória.

Tipo de Respirador	Pressão da peça facial	Fator de proteção
A) Remoção de partículas		
Uso único, pó	-	5
¼ máscara, pó	-	5
Meia máscara, pó	-	10
Meia ou ¼ máscara, gás	-	10
Meia ou ¼ máscara, alta eficiência	-	10
Peça facial total, alta eficiência	-	50
Equipada, alta eficiência, c/ todos os acessórios	+	1.000
Equipada, pó ou gás, c/ todos os acessórios	+	x
B) Remoção de vapor e gás		
Meia máscara	-	10
Peça total	-	50

Fonte: Fundacentro, (2016).

4.2.4 Controle Médico

Os exames médicos pré-admissionais e periódicos devem ser feitos como forma de controle da saúde geral dos trabalhadores, de detecção de fatores predisponentes a doenças profissionais, assim como para avaliação da efetividade dos métodos de controle empregados (SALIBA, 2016).

5 CONCLUSÃO

Ao longo desse trabalho, verificou-se a necessidade de implantação de controle, e revisão nas normas trabalhistas a respeito da exposição do trabalhador a agentes químicos, tais como os aerodispersóides metálicos e não metálicos.

A legislação vigente, exposta na NR 15 da Portaria nº 3214 do Ministério do Trabalho teve seus limites estabelecidos a partir da ACGIH de 1987. A ACGIH é revista e atualizada anualmente, adicionando novos compostos e novos valores de tolerância. Além disso, esta estipula limites para jornadas de trabalho de 8 horas/dia e 40 horas/semanais, estabelecidas a partir das jornadas trabalhistas americanas, fazendo-se necessária a reformulação de tal para que se adeque aos trabalhadores brasileiros.

Um dos maiores riscos de um ambiente de trabalho insalubre reside na inalação de compostos tóxicos, suspensos no ar na forma de poeira, fumos, fibras, névoas e neblinas. Se inalados, substâncias metálicas como chumbo, manganês, zinco e cobre classificado como metais pesados, não são eliminados do organismo, podendo ocasionar graves danos a saúde dos trabalhadores, tais como câncer, alergias, e também as chamadas doenças ocupacionais, resultantes da intoxicação por exposição prolongada aos agente químicos tóxicos.

Nota-se certo descaso do Ministério do Trabalho quanto à saúde dos trabalhadores no Brasil, especialmente quando comparado a países como Estados Unidos, Reino Unido, em que estudos são realizados frequentemente para melhor adequar-se ao benefício do trabalhador.

Torna-se necessário então a implementação de medidas de controle ambientais e também humanas, sendo, talvez, a mais importante medida relativa á saúde do trabalhador a conscientização, por meio de treinamento e conhecimento, já que de nada vale a utilização de EPIs sem que se compreenda os riscos que este evita, e o perigo ao qual se está exposto sem sua utilização correta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists. ABHO, TLVs and BEIs. **Threshold Limit Values**, 2014.
- BARCELOUX, D.G. Manganese. **Clin. Toxicol.**, New York, v. 37, n. 2, p. 293 – 307, 1999.
- BENTLEY, R; CHASTEEN, T. Arsenic curiosa and humanity. **Chem Educ.** New York, V. 7
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR09/NR-09-2016.pdf>. Acesso em: 21/06/2017.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-15 – Atividades e Operações Insalubres. Anexo Nº 13 – Agentes Químicos**. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR15-ANEXO13.pdf>. Acesso em: 21/06/2017.
- BREVIGLIERO, E; POSSEBON, J; SPINELLI, R. **Higiene Ocupacional: Agentes biológicos, químicos e físicos**. 5ª Edição. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2010.
- BRIGDEN, K., STRINGER, R., LADUNSKA, I. **Poluição, por organoclorados e metais pesados, associada ao fundidor de ferro da Gerdau em Supucaia do Sul, Brasil**. Rio Grande do Sul: Greenpeace. 2000.
- BURGESS, W.A. **Recognition of health hazards in industry: a review of materials and processes**. 2 nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- CARVALHO, J.C. **Merúrio: Metal perigoso para o homem e para o ambiente**. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/mercurio-metal-perigoso-para-o-homem-e-para-o-ambiente.htm>. Acesso em: 26/12/2017.
- CAMPOS, A. J. M & NAKANO, V. **Metais Pesados: Um Perigo Eminente**. Disponível em: http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=56&lang=br. Acesso em: 26/12/2017.
- DUARTE, F.P.; CORONA, M.P.P. **Niveles y tendencias de las concentraciones de plomo em la atmosfera de la ciudad de México**. Instituto de Salud Publica, 1995.
- FUNDACENTRO, NHO 08. **Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho**. São Paulo, 2009.
- [HSDB] HAZARDOUS SUBSTANCES DATA BANK. **Manganese**. National Library Medicine. Canadian Center for Occupational Health and Safety 2000-4, 2000.

- GANDHI, D. N., PANCHAL, G. M., DHULL, D. K. Neurobehavioral toxicity in progeny of rat mothers exposed to methylmercury during gestation. **Ann Ist Super Sanità**, 2014.
- KOSNETT, M. J. **Intoxicação por Metais Pesados & Quelantes**. In: KATZUNG, Bertram G. Farmacologia Básica & Clínica. 8.Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.
- LEROYER, A.; *et al.* Environmental lead exposure in a population of children in northern France: factors affecting lead burden. **Am. J. Ind. Med.**, v.38, p. 281-289, 2000.
- LIU, J., GOVER, R. A., WAALKES, M. P. (2007). Toxic Effects of Metals, 2007.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**. São Paulo: Produquímica. 1994.
- MATSCHULLAT, J. Arsenic in the geosphere: a review. **Sci. Total Environ.**, Shannon, v.249, n.1/3, p.297-312, 2000.
- MAYER, M.G; WILSON, D.N. Health and safety – the downward trend in lead levels. **Journal of Power Sources**, v.73, p. 17-22, 1998.
- MURPHY, C.H. **Handbook of Particles Sampling and Analysis Methods**. Verlag Chemie International, Flórida, 1984.
- NELSON, K.W. Industrial contributions of arsenic to the environment. **Environ. Health Perspect.**, Research Triangle Park, v.19, p.31-34, 1977.
- OLIVEIRA, J.M. **Noções de ventilação industrial**. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_INDUSTRIAL.pdf. Acesso em: 21/11/2017.
- PARTINGTON, J.R. **Origins and development of applied chemistry**. London, New York: Logmans Green, 1935.
- ROCHA, D. Q., SOUZA, M. O., FERREIRA, Y. **Contaminação por Cádmio**. Disponível em: www.cq.ufam.edu.br/cd_24_05/cadmio_qa.htm. Acesso em 21/09/2017.
- RUPPENTHAL, J.E. **Toxicologia**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013.
- SALIBA, T. M. **Manual Prático de Higiene Ocupacional e PPRA**. Avaliação e controle de riscos ambientais. 3º Edição. São Paulo: LTR, 2011.
- SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Poeira e outros Particulados**. 8º Edição. São Paulo: LTR, 2016.

SANTOS, A. M. A. **O Tamanho das Partículas de Poeira Suspensas no Ar dos Ambientes de Trabalho**. Fundacentro, São Paulo, 2001.

SCHROEDER, H.A; BALASSA, J.J. Abnormal trace metals in man: arsenic. **J. Chronic Dis.**, Elmsford, v.19, n.1, p.85-106, 1966.

SESI. Serviço Social da Indústria. Departamento Nacional. **Técnicas de Avaliação de agentes ambientais**. Manual SESI. Brasília: SESI/DN, 2007.

SOTO, José Manoel Osvaldo Gana; *et al.* **Riscos químicos**. 2. Ed. São Paulo: Fundacentro, 1985.

SOUZA, M.B; Garcia, G. F; Maciel R. Siderose Pulmonar. **Jornal Pneumol.** BH. 1998.

TORLONI, M. **Programa de proteção respiratória: recomendações, seleção e uso de respiradores**. – 4. Ed. – São Paulo: Fundacentro, 2016.

WHO. **IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 17: Manganese**. Geneva: WHO, 1981.

WHO. **IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 18: Arsenic**. Geneva: WHO. 1981.

WHO. **IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 165: Inorganic lead**. Geneva: WHO, 1995.

WHO. **IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 12: Manganese and its compounds**. Geneva: WHO, 1999.

WHO. **IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 224: Arsenic and arsenic compounds**. 2.ed. Geneva: WHO, 2001.

YU, K. M., LEE, K. E., KIM, Y. M. Methylmercury Exposure and Health Effects. **Journal of Preventive Medicine & Public Health**. 2012.