



GLOBAL JOURNAL OF MEDICAL RESEARCH: K
INTERDISCIPLINARY
Volume 21 Issue 8 Version 1.0 Year 2021
Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal
Publisher: Global Journals
Online ISSN: 2249-4618 & Print ISSN: 0975-5888

Occupational Risks in the Manufacture of Products Heavy Alloy and in Hardmetals Cutting Tools in the Mechanical Industry

By Fabio Miranda, Rodrigo Lima Stoetera & Gilmar Ferreira Batalha

Abstract- The objective of this work was to carry out a review of current regulatory standards, articles, and literature together with a case study, which dealt with the analysis of the conditions of the working environment of an industry, with the focus on workers exposed to chemical agents in manufacturing of carbide cutting tools and products. The method used in this research was qualitative. Technical visits and records of the factory sectors were carried out. With the inspection carried out at the workplace, it is necessary to know the Minimum Required Protection Factor for aerodispersoids ranging from 0.1 to 10 microns and choose the correct Respiratory Protection Equipment, which has an Assigned Protection Factor greater than the exposure dose. The tolerance limit value, 0.005 mg.m-3, for exposure of carbide metallic powders proposed by the ACGIH in 2016, represents a major advance in occupational hygiene and occupational safety, making it possible to carry out the assessment quantitative analysis of the mean concentration of hard metal aerodispersoids.

Keywords: aerodispersoids, hardmetal; occupational exposure, preventive measures, and occupational.

GJMR-K Classification: NLMC Code: WA 465



OCCUPATIONAL RISKS IN THE MANUFACTURE OF PRODUCTS HEAVY ALLOY AND IN HARDMETAL CUTTING TOOLS IN THE MECHANICAL INDUSTRY

Strictly as per the compliance and regulations of:



RESEARCH | DIVERSITY | ETHICS

© 2021. Fabio Miranda, Rodrigo Lima Stoetera & Gilmar Ferreira Batalha. This research/review article is distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0). You must give appropriate credit to authors and reference this article if parts of the article are reproduced in any manner. Applicable licensing terms are at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Occupational Risks in the Manufacture of Products Heavy Alloy and in Hardmetals Cutting Tools in the Mechanical Industry

Riscos Ocupacionais Na Fabricação De Produtos Em Metais-Pesados E Ferramentas De Corte Em Metais-Duros Na Indústria Metalmeccânica

Fabio Miranda ^α, Rodrigo Lima Stoetera ^σ & Gilmar Ferreira Batalha ^ρ

Abstract- The objective of this work was to carry out a review of current regulatory standards, articles, and literature together with a case study, which dealt with the analysis of the conditions of the working environment of an industry, with the focus on workers exposed to chemical agents in manufacturing of carbide cutting tools and products. The method used in this research was qualitative. Technical visits and records of the factory sectors were carried out. With the inspection carried out at the workplace, it is necessary to know the Minimum Required Protection Factor for aerodispersoids ranging from 0.1 to 10 microns and choose the correct Respiratory Protection Equipment, which has an Assigned Protection Factor greater than the exposure dose. The tolerance limit value, 0.005 mg.m-3, for exposure of carbide metallic powders proposed by the ACGIH in 2016, represents a major advance in occupational hygiene and occupational safety, making it possible to carry out the assessment quantitative analysis of the mean concentration of hard metal aerodispersoids. The hardmetal disease occurs due to high exposures to concentrations of aerodispersoids and it was identified in this work, the importance of training workers in the industry, but not only those who work directly with the product, but also the multidisciplinary teams of management, safety and occupational medicine.

Keywords: aerodispersoids, hardmetal; occupational exposure, preventive measures, and occupational.

Author α: Professor Adjunto Profissional III dos cursos de Engenharia Mecânica, Produção, de Controle e Automação na Universidade Paulista – UNIP. Professor do Centro Paula Souza (CPS). Aluno do Programa de Pós-Graduação Doutorado em Engenharia Mecânica PPGEM (USP). Mestre em Engenharia Mecânica no Instituto Federal de São Paulo - IFSP-SPO. e-mail: fabio.miranda@usp.br

Author σ: Professor da Universidade de São Paulo USP - Dept^o. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP. Doutorado em Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Pós-Doutorado em Engenharia Mecânica na Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT Aachen, Alemanha. Instituição: Professor do curso de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP. e-mail: rodrigo.stoetera@usp.br

Author ρ: Professor da Universidade de São Paulo USP - Dept^o. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP. Livre Docência e doutorado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. Pós-Doutorado em Engenharia Mecânica na Universität Erlangen Nürnberg Lehrstuhl Für Fertigungstechnologie, LFT-FAU, Erlangen Alemanha. e-mail: gfbatalh@usp.br

Resumo- O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão das normas regulamentadoras vigentes, artigos e literatura em conjunto com um estudo de caso, que tratou da análise das condições do ambiente de trabalho de uma indústria, tendo como foco os trabalhadores expostos aos agentes químicos na fabricação de produtos e ferramentas de corte de metal-duro. O método utilizado nesta pesquisa se deu de forma qualitativa. Visitas técnicas e registros dos setores da fábrica foram realizadas. Com a inspeção realizada no local de trabalho, se faz necessário conhecer o Fator de Proteção Mínimo Requerido para aerodispersóides variando de 0,1 a 10 micra e escolher o Equipamento de Proteção Respiratório correto, que possua Fator de Proteção Atribuído maior que a dose de exposição. O valor do limite de tolerância, 0,005 mg.m-3, para exposição de pós-metálicos de metal-duro proposto pela ACGIH, em 2016, representa um grande avanço para a higiene ocupacional e segurança do trabalho, sendo possível a realização da avaliação quantitativa da concentração média dos aerodispersóides de metais-duros. A doença do metal-duro ocorre devido as exposições elevadas de concentrações de aerodispersóides e identificou-se neste trabalho, a importância do treinamento dos trabalhadores na indústria, mas não apenas dos que atuam diretamente com o produto, mas das equipes multidisciplinares da gestão, segurança e medicina do trabalho.

Palavras-chave: aerodispersóides, metais-duros; exposição ocupacional, medidas preventivas e doenças ocupacionais.

I. INTRODUÇÃO

Para obtenção de um produto metalúrgico denominado metal-duro, liga de carboneto de tungstênio e cobalto (WC-Co) ou em metal-pesado, liga de tungstênio com níquel, cobre ou ferro (W-Ni-Cu-Fe), se fez necessária a aplicação da técnica da metalurgia do pó. De modo geral, os metais-duros são compostos por metais refratários duros como WC em maior percentual em massa e os demais como complementares: TiC, TaC, NbC, VC, Cr₂C₃ que são incorporados a uma fase ligante metálica como o níquel, cobalto ou ferro para formação de um compósito metalocerâmicos que tem como objetivo, a aplicação principal em ferramentas de corte para o processo de usinagem, ferramentas para resistência a abrasão e conformação (Abd-Elghany et al., 2018). Para

o metal-pesado, é uma liga baseada na predominância do elemento químico tungstênio (W), sendo adicionado a fase ligante níquel, cobre ou ferro e suas possíveis combinações Ni-Cu ou Ni-Fe. Essas ligas de tungstênio são sinterizadas por fase líquida em fornos a vácuo e as suas aplicações requerem altas resistências a fratura a quente e deformação plástica termomecânica para suportar condições severas, como laminação a quente, extrusão e estampagem (Alam *et al.*, 2021).

O compósito WC-Co, conhecido como metal-duro, foi desenvolvido em 1926, na Alemanha primeiramente como ferramentas de corte, insertos para usinagem, pela empresa Krupp – Widia AG. Os carbonetos sinterizados são constituídos essencialmente por partículas de carbono com um elemento químico metálico, o tungstênio, considerado um metal pesado, rígido e possui grande resistência ao desgaste e à corrosão, além de ser bom condutor de calor e eletricidade (Garcia *et al.*, 2018). O metal-duro sendo um compósito que consiste em uma fase dura, possui alta dureza, resistência mecânica e uma fase ligante que confere tenacidade e plasticidade ao material. A fase dura consiste em grãos de carboneto de tungstênio (WC), elemento principal, mas em algumas aplicações são adicionadas pequena quantidade de carbonetos refratários, tais como: TaC, MoC, NbC ou TiC para melhorar a dureza a quente e a resistência ao desgaste, mas 95% das ferramentas de corte de metal-duro, contêm WC. A fase ligante consiste em cobalto ou níquel, mas também pode ser substituída por ferro (Fernandes e Seno, 2011).

Para a fabricação destas ligas, via rota convencional de processamento da metalurgia do pó, os trabalhadores ficam expostos aos pós-metálicos, na forma de aerodispersóides, ocasionando uma doença difusa causada por inalação de partículas de cobalto e carbonetos, resultando em pneumoconiose por exposição a metal-duro, que se manifesta de três formas diferentes: asma ocupacional, doença intersticial e alveolite alérgica (Moreira *et al.*, 2009). A exposição de pós-metálicos de metal-duro, pode resultar em uma pneumoconiose, que é uma doença difusa causada por inalação de partículas de cobalto; os demais metais que, níquel e ferro, são considerados inertes, não ocasionando lesão pulmonar, mas podem gerar quadros de asma ocupacional. Ocupações relacionadas à fabricação e ao refino dessa liga WC-Co, assim como a utilização de discos revestidos de cobalto para o polimento de diamantes e a afiação de ferramentas estão relacionadas a essas doenças (Moreira *et al.*; 2010)

Os trabalhadores são expostos as partículas de cobalto, na forma ionizada, e o WC, que são absorvidas pelos pulmões e pelo trato gastrointestinal, na produção desses produtos sinterizados para o uso das ferramentas de corte e afiação de metais, perfuração de poços, polimento com diamante, próteses dentárias,

entre outros (Miautani *et al.*, 2016). Foi sugerido que a exposição a essas ligas de W e WC, com aglutinantes de cobalto e níquel, pode aumentar o risco de câncer pulmonar entre os trabalhadores na fabricação de metais-duros e pesados (McElvenny *et al.*, 2017). Do ponto de vista de higiene ocupacional, as principais vias de exposição com relação aos pós-metálicos, são: a respiratória e a dérmica (Alves e Della Rosa, 2003). A exposição ao cobalto durante a produção de metal-duro foi associada a vários efeitos adversos à saúde, como rinite, sinusite, bronquite, asma, e outros efeitos respiratórios, ou seja, função pulmonar diminuída relacionada à dosagem ao longo do tempo e metal-duro doença pulmonar (DPMD). Dermatite alérgica também foi relatada, assim como casos de cardiomiopatia, e um aumento na incidência de doença cardíaca isquêmica foram determinados em um estudo de grupo de trabalhadores de na fabricação e manipulação de metal-duro (Svartengren *et al.*, 2017).

a) Processo de fabricação de metal-duro e metal-pesado

As ligas de WC-Co e WC-Ni podem ser produzidas através do processo convencional, conforme mostrado na Fig. 1(a) e ou por métodos, incluindo moldagem por injeção, Fig. 1(b), ou moldagem por extrusão, que são técnicas da metalurgia do pó (Yang *et al.*, 2020). O problema principal, na fabricação de metal-duro e metal-pesado, inicia-se primeiramente na preparação da mistura dos pós-metálicos, que para a maioria foram elaborados por misturados ou moinho Atritor, ou seja, pelo processo convencional, com tamanhos variando de 0,1 a 50 μm , aglomerados e superfinos, conforme mostrado na Fig. 2(a) e 2(b) (Nie; Zhang, 2019).

McElvenny *et al.* (2017), descrevem de uma forma sucinta os agentes químicos, solventes aromáticos, pós-metálicos, entre outros, envolvidos nas etapas de fabricação dos metais-duros e metais pesados: no processo inicial, ocorre a mistura dos pós-metálicos de WC-Co, processo de moagem de alta energia, necessário para homogeneizar e dispersar o cobalto entre as partículas de WC, e para facilitar a molhabilidade da fase ligante durante a sinterização. A moagem é realizada sob um líquido inflamável, como álcool etílico, álcool isopropílico, metanol, nafta, querosene, hexano, heptano ou acetona; que no processo volatiliza facilmente no ambiente, liberando uma mistura híbrida (vapores orgânicos + aerodispersóides sólidos finos). Após essa etapa, um lubrificante sólido é adicionado à mistura, como a cera de parafina, mono ou polietilenoglicol; favorece a escoabilidade da mistura na etapa de compressibilidade. Há também o processo de *spray dryer*, secagem por pulverização, comumente usados na indústria de metal-duro, um gás inerte, como o nitrogênio ou argônio, entra em contato com uma

corrente de partículas WC-Co para produzir agregados esféricos de pó de fluxo livre.

Os pós-misturados aglomerados com o lubrificante sólido, são prensados nos formatos desejados em prensas hidráulicas ou mecânicas. Após essa etapa, o orgânico do compactado a verde é removido por secagem, denominada pré-sinterização em fornos de redução com gás hidrogênio. Formas

especiais podem exigir uma operação de pré-usinagem até a forma final. Há também o processo de prensagem isostática a frio e extrusão de barras cilíndricas, quadradas ou barras chatas, geometrias comuns na fabricação de componentes resistentes ao desgaste e ferramentas de conformação de metal (McElvenny *et al.*, 2017).

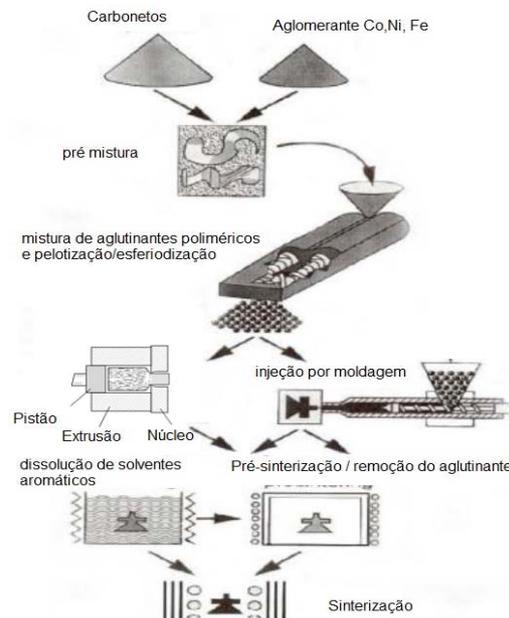
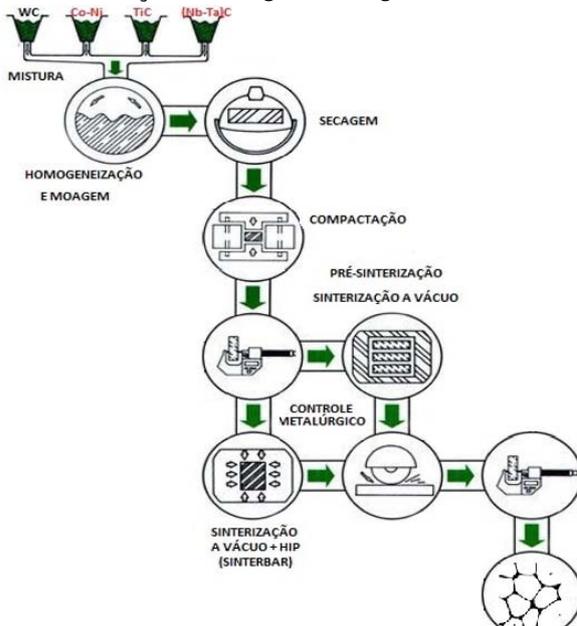


Fig. 1(a): Rota Convencional de Processamento de metal-duro. Adaptado de Durit. Fig. 2(b). Ilustração esquemática do processo de extrusão e/ou de moldagem por injeção de metal-duro, Adaptado de Muniandy, Amin e Ibrahim (2017).

A exposição ocupacional dos trabalhadores na indústria de fabricação de metais-duros (WC-Co), ferramentas de corte que são utilizadas nas técnicas da usinagem para produtos metálicos, vem sendo estudada desde a década de 60. O metal-duro é classificada como um grupo de compósitos que consiste predominantemente na fase particulada de carbonetos de tungstênio duro (WC) ligada juntamente com cobalto como um aglutinante. O níquel e outros

carbonetos, na forma de pó metálico, também podem ser adicionados na mistura (Svartengren *et al.*, 2017). O Brasil já está enfrentado este novo desafio no que diz respeito à saúde ocupacional, ou seja, exposição dos trabalhadores na fabricação de metal-duro, faz se necessário aplicar procedimentos preventivos para os efeitos indesejados, como a doença por metal-duro (DPMD) (Alves e Della Rosa, 2003).

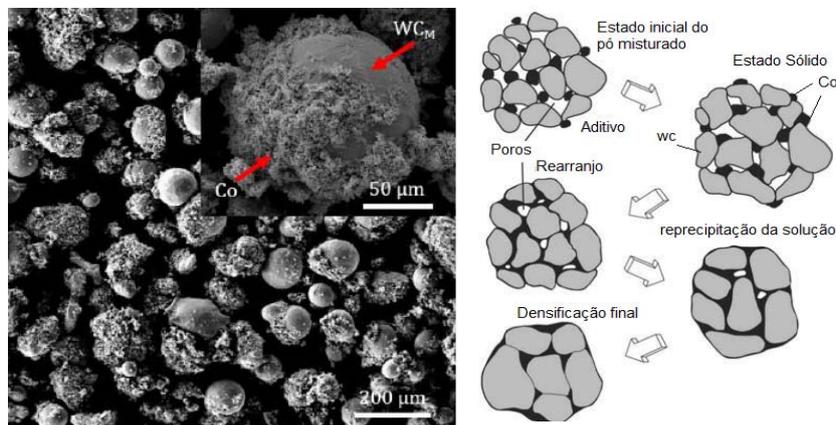


Fig. 2(a): Micrografia eletrônica de varredura (MEV) do compósito em pó, mistura WC-12%Co, em massa. Fig. 2(b). Ilustração esquemática da microestrutura de WC-Co por sinterização por fase líquida (LPS), Adaptado de Muniandy, Amin e Ibrahim (2017).

A principal utilização industrial do Co encontra-se na produção de ligas metálicas, nas quais a exposição ocorre durante o processo de moagem do minério, mistura do pó com os outros componentes, sinterização e posterior usinagem do aço na produção de ferramentas e peças para maquinários, tais como

brocas e discos para polimento. Algumas aplicações das ligas de cobalto e demais elementos químicos, encontram-se na Tabela 1. Um terço do Co é utilizado na produção de outras formas químicas, como catalisadores e pigmentos (Alves e Della Rosa, 2003).

Tabela 1: Tipos de ligas, composição e utilização industrial (Alves e Della Rosa, 2003).

Tipo de liga	Componentes químicos	Aplicação
Superligas resistentes à corrosão	cobalto, cromo, níquel, tungstênio, tântalo, alumínio, titânio e zircônio	lâminas de corte
Ligas magnéticas	cobalto, níquel, alumínio, cobre e titânio	indústria eletroeletrônica
Aços de alta resistência	cromo e cobalto (25-65%)	peças de equipamentos que necessitam de aço altamente resistente ao calor, tais como turbinas de aviões
Aços com propriedades especiais	cromo, níquel, molibdênio e 65% de cobalto	implantes cirúrgicos
Metal-duro produzido por processo de "sinterização"	pó de cobalto, ligante na produção de ligas com o carbeto de tungstênio e/ou titânio, tântalo, nióbio e molibdênio	lâminas de corte, brocas e discos para polimento de diamantes

b) *Trato respiratório e a exposição de material particulado sólido suspenso no ambiente de trabalho*

Do ponto de vista da higiene e segurança do trabalho e da toxicologia ocupacional, considera-se a via respiratória como sendo a mais importante via de penetração de particulados, ou aerodispersóides, e

agentes químicos no organismo humano. Todo material particulado em suspensão no ambiente, ao adentrar no trato respiratório do trabalhador exposto a esses aerodispersóides, dependendo de seu Diâmetro Aerodinâmico (DA), poderá ou não penetrar no trato respiratório, como representado na Fig. 3(a) e (b) esquemática elaborada por Colacioppo (2020).

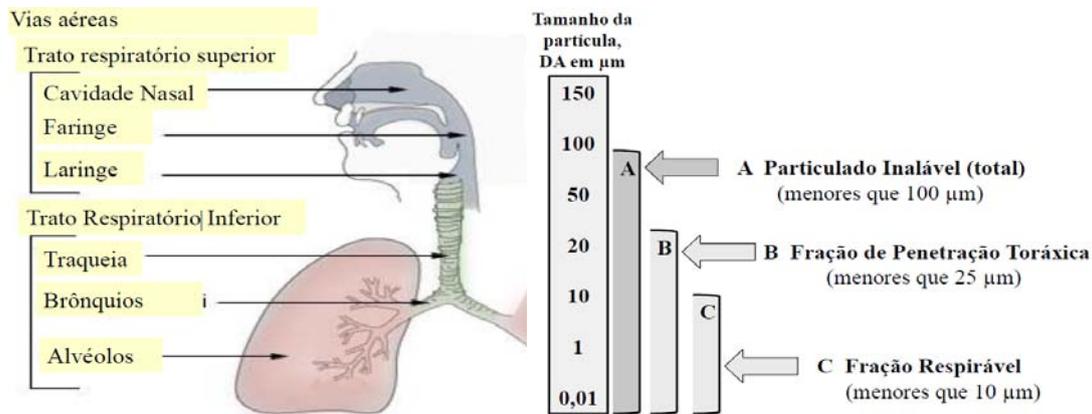


Fig. 3 (a): Estrutura do aparelho respiratório humano e; (b). Penetração nas vias aéreas de material particulado em suspensão no ar (Colacioppo, 2020).

Os materiais na forma de particulados sólidos suspenso no ar de ambientes de trabalho, classificam-se em três classes (FUNDACENTRO, 2009; Colacioppo, 2020):

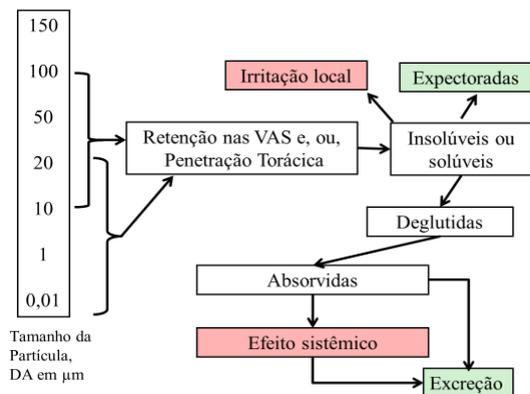
1) *Particulado inalável* (ou total, ou poeira total) é considerado todo material existente em suspensão no ar e com possibilidade de ser inalado, ou seja, penetrar nas vias aéreas do trabalhador. Não se refere a todo o material particulado existente no ar, apenas as partículas com DA inferior a cerca 100 micra (μm) que tem probabilidade significativa de penetração, probabilidade esta que aumenta com a

diminuição do DA. Desta forma, não se consideram adequadas as denominações, particulado total ou poeira total, embora esta última tenha sido utilizada na NR-15.

2) *Particulado de penetração torácica*, é a fração do particulado inalável composta por partículas com DA inferior a cerca de $25 \mu m$, que quando inaladas, não ficam retidas nas vias aéreas superiores (nariz e garganta) e possuem probabilidade significativa de atingem a traqueia e brônquios, que se encontram localizados no tórax, daí a sua denominação.

3) *Particulado respirável*, é a fração do particulado inalável composta por partículas com DA inferior a cerca 10 μm que quando inaladas, não ficam retidas nas vias aéreas superiores (nariz e garganta) e nem na traqueia e brônquios, possuindo probabilidade significativa de atingirem as vias aéreas profundas que são os alvéolos pulmonares, onde se realiza a troca gasosa (CO_2 x O_2), ou respiração pulmonar, daí a sua denominação.

As mudanças nos tamanhos das partículas podem alterar a via e a intensidade de absorção. No caso de nanopartículas (nm), suas propriedades podem ser muito diferentes do mesmo material em tamanhos grandes. Por exemplo, o dióxido de titânio (TiO_2 , CAS 13463-67-7), quando em forma de nanopartículas, tem efeitos inflamatórios pulmonares



que não podem ser observados quando a exposição se dá na partícula do material com diâmetro ordinário (Buschinelli; Kato, 2011)

As partículas insolúveis podem ficar retidas e posteriormente expectoradas (junto com o muco) ou mesmo exaladas (com o ar expirado) ou ainda deglutidas, somando-se à possível penetração por via digestiva. Partículas com diâmetro aerodinâmico (DA) inferior a 10 micra (μm), como no caso dos pós-metálicos de metal-duro, oferecem probabilidade significativa de atingir os alvéolos pulmonares, sendo que esta probabilidade ainda aumenta com a diminuição do DA. Ao atingir os alvéolos dependendo da solubilidade na mucosa diferentes efeitos podem ser observados conforme apresentados nas Fig. 4(a) e 4(b), (Colacioppo, 2020).

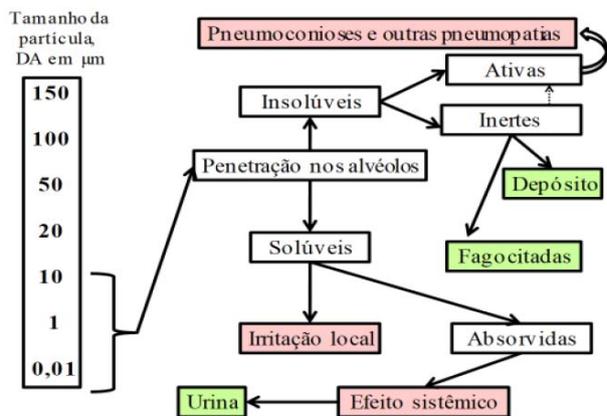


Fig. 4 (a): Penetração de partículas que atingem as vias aéreas superiores e torácicas; Fig. 4 (b). Penetração e efeitos de partículas que atingem os alvéolos pulmonares (Colacioppo, 2020).

As partículas insolúveis quando depositadas na região final dos brônquios e alvéolos sendo que o máximo de deposição a ser alcançado por partículas em torno de 1 a 2 micra (μm), que podem ser eliminadas com a reação do tecido pulmonar, através dos macrófagos, que consistem em células sanguíneas especiais (de cerca de 100 a 200 μm) que quando liberadas, podem englobar, destruir a partícula ou simplesmente mantê-la inerte (fagocitose). A situação se complica com o aumento da quantidade de partículas ou ainda quando a partícula não fica inerte, no caso dos carbonetos, classificados como insolúveis, podem despertar outros mecanismos de defesa imunológica do organismo, mas, estes mecanismos por vezes acabam por desencadear uma pneumoconiose, doença esta que modifica a estrutura do tecido pulmonar e por conseqüente perda da capacidade de respiração pulmonar sendo que as mais conhecidas são a silicose provocada pela sílica (SiO_2) e a asbestose provocada pelo asbesto ou amianto (Colacioppo, 2020).

São apresentadas nas Fig. 5(a), (b), e (c), as análises por EDS dos pós-metálicos de cobalto, níquel carbonila e carboneto de tungstênio para a mistura de

ligas de metal-duro, WC-Co e WC-Ni, evidenciando os tamanhos dos particulados menores (DA) que 10 micra (μm), portanto poeiras respiráveis. Na Fig. 5 (a) e (c), as imagens obtidas por *Backscattered Electron Image* (elétrons retroespalhados) e na Fig. 5 (b) e (d), imagens obtidas por SEI (elétrons secundários), ficando clara a identificação dos agentes químicos.

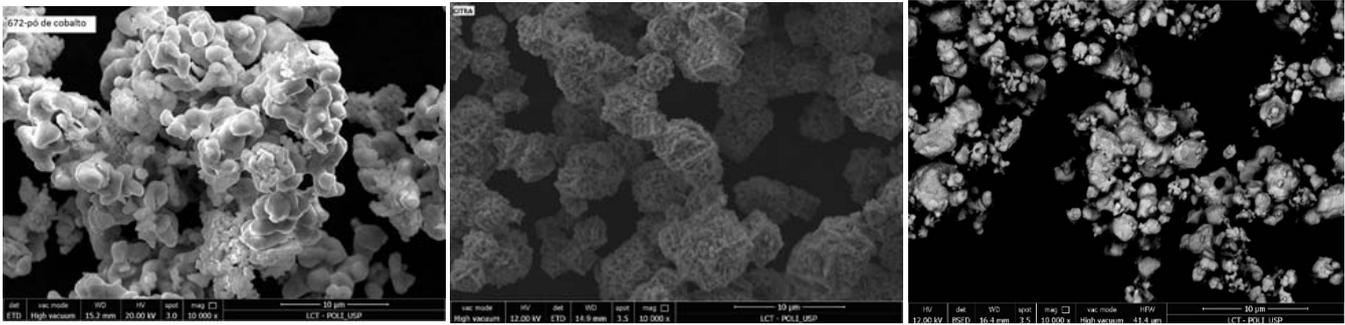


Fig. 5(a): Cobalto em pó; 5(b) Níquel carbonila em pó. 5(c) Carboneto de tungstênio em pó.

Para a coleta desses pós-metálicos, o sistema de coleta se dá no próprio trabalhador, posicionando-se o dispositivo de coleta na altura da zona respiratória, conforme apresentado na Fig. 6(a) e 6(b). Este tipo de coleta deve ser utilizado para estimar a exposição dos

trabalhadores. Na seleção dos trabalhadores para coleta individual, deve-se caracterizar e selecionar o trabalhador que apresente o maior risco para cada atividade (FUNDACENTRO, 2009).



Fig. 6 (a): Coleta individual com a bomba de amostragem (pessoal) – frente 5 (d). Coleta individual (pessoal) – costas (FUNDACENTRO, 2009).

O instrumento portátil apresentado na Fig. 6(a), uma bomba de amostragem, que deve ser leve e que forneça uma vazão de até 6,0 L/min, com bateria recarregável e blindada contraexplosão. A bomba deve possuir um sistema automático de controle de vazão com capacidade para mantê-la constante, dentro de um intervalo de $\pm 5\%$, durante o tempo de coleta. Com relação ao dispositivo de coleta dos particulados, é composto por um conjunto de porta-filtro, suporte do filtro, filtro de membrana e, quando necessário e um separador de partículas; deve ser posicionado na altura da zona respiratória, para estimar a exposição dos trabalhadores, de maior risco de exposição, com relação à fonte geradora de material particulado, o tempo de exposição, a sua mobilidade, as diferenças de hábitos operacionais e a movimentação do ar no ambiente de trabalho (FUNDACENTRO, 2009).

A FUNDACENTRO (2009) recomenda as seguintes situações para coleta dos particulados:

- Particulado inalável, Fig. 7(a), utilizar um dispositivo de coleta projetado para selecionar partículas com DA diâmetro aerodinâmico de até 100 micra (μm) com 50% de eficiência de coleta.
- Particulado torácico, Fig. 7(b), utilizar um separador projetado para selecionar partículas menores que 25 μm com 50% de eficiência de coleta em partículas com DA de 10 μm .
- Particulado respirável, Fig. 7(c), utilizar um separador, do tipo ciclone, projetado para selecionar partículas menores que 10 μm com 50% de eficiência de coleta em partículas com DA de 4 μm .

Para a análise dos particulados suspenso no ar, esses dispositivos, conforme apresentados na Fig. 7(a), (b), (c) e (d), recomenda-se que sejam utilizados para sílica cristalizada, carvão vegetal, negro de fumo, madeira, cereais, farinhas e partículas não especificadas de outra maneira (PNOS). No caso dos metais-duros e pesados, o dispositivo de coleta

recomendado é o IOM, separador e coletor de material particulado inalável, apresentado na Fig. 8, pois garantem que o tamanho das partículas coletadas, correspondam a fração inalável, definida pela norma

ISO 7708 e a norma Europeia EM 481. Na Tabela 2, são apresentados os parâmetros para coleta e análise dos particulados, até que outra recomendação seja especificada pela FUNDACENTRO (2009).



Fig. 7 (a): Dispositivo de coleta para particulado total (cassete); (b). Dispositivo de coleta para particulados torácico e respirável; (c) Dispositivo de coleta para particulado respirável (alumínio) e (d) Dispositivo de coleta tipo IOM particulado inalável (FUNDACENTRO, 2009).

Nestes dispositivos apresentam, de forma geral, o anel de vedação, suporte do filtro, filtro da membrana, parte central do porta-filtro, cassete para 2 membranas, podendo ser de PVC ou EC, parte superior do porta-filtro com orifício de entrada de 4mm, tampa do porta-filtro e o plugue. Esses dispositivos de medição quantitativa, no Brasil, podem ser efetuados por profissionais da área da segurança do trabalho: técnicos, tecnólogos e engenheiros, que se preocupam

mais com medições diretas e indiretas, para o controle ambiental e prevenção; sobre as doenças e efeitos causados nos trabalhadores com relação ao ar contaminado, as responsabilidades ficam por conta dos profissionais da área da medicina do trabalho, abrangendo os médicos, enfermeiros e técnicos de enfermagem, conforme descrito nas normas regulamentadoras do ministério do trabalho e nas leis de profissão regulamentada (FUNDACENTRO, 2009).

Tabela 2: Parâmetros para coleta e análise de material particulado suspenso no ar (FUNDACENTRO, 2009).

Fração	COLETA		ANÁLISE	
	Dispositivo de coleta e vazão da bomba		Técnica analítica	Método de referência
Total	Filtro de membrana de Éster de celulose (EC), 0,8 µm de poro, ou de PVC, 5 µm de poro, 37 mm de diâmetro; b) Porta-filtro com face fechada de 2 ou 3 corpos, com vazão de 1 L/min a 4 L/min		ICP-AES	NIOSH 7300
Total	Filtro de membrana de EC, 0,8 µm de poro, ou de PVC, 5 µm de poro, 37 mm de diâmetro; b) Porta-filtro com face fechada, de 2 ou 3 corpos, com vazão de 2 L/min		ICP-AES Espectrofotometria (absorção atômica)	OSHA ID-125G OSHA ID-121
Inalável	Filtro de membrana de EC, 0,8 µm de poro, 25 mm de diâmetro para o porta-filtro tipo IOM, ou 37 mm de diâmetro para o dispositivo cônico. b) Porta-filtro tipo IOM, com vazão de 2 L/min; ou dispositivo cônico, com vazão de 3,5 L/min		HSE-METAL-DUROHS Existem vários métodos específicos	

Tabela 3: Fração de particulado respirável (FUNDACENTRO, 2009).

Diâmetro aerodinâmico da partícula (µm)	% Massa de particulado respirável (R)
1.	100
2.	97
3.	91
4.	74
5.	50
6.	30
7.	17
8.	9
9.	5
10.	1

A análise gravimétrica recomendada pela FUNDACENTRO (2001), fornece subsídios para a proposição de medidas de controle ou para a verificação de sua eficiência. A Tabela 3, apresenta os valores de eficiências de coleta, em massa, para as diferentes frações de material particulado. A coleta de material particulado total deve ser efetuada quando não houver indicação de coleta de material particulado nas frações inalável, torácica ou respirável. Na tabela 3, apresenta os valores de eficiências de coleta, em massa, para as diferentes frações de material particulado, Fig.7(d), dispositivo de coleta tipo IOM para particulado inalável (FUNDACENTRO, 2009)

c) *Doenças ocupacionais por metal-duro (WC-Co) e metal-pesado (W-Ni)*

A exposição aos pós-metálicos de WC-Co e W-Ni podem causar diferentes formas de doença pulmonar, desde asma a diversos padrões intersticiais no pulmão. Os profissionais da área da medicina do trabalho, classificaram como DPMD, Doença pulmonar por metal-duro; além disso, a exposição por via oral pode causar efeitos gastrintestinais (náusea, vômito e diarreia) e no sangue, dano no fígado e dermatite alérgica. A DPMD é uma entidade rara e a publicação de casos ocorridos no Brasil está ou encontra-se

escassa, constituída pela descrição do CID, código internacional de doenças, mesmo em trabalhadores com risco ocupacional. Variam na literatura dados sobre a prevalência e a incidência da doença entre indivíduos expostos a metais-duros (Mizutani et al. 2016).

A pneumoconiose por exposição a metal-duro foi primeiramente descrita por *Liebow e Carrington* em 1969, sendo incluída entre as pneumonias intersticiais idiopáticas. A ERS - Sociedade Europeia Respiratória e a comunidade médica, reconheceram essa situação como pneumoconiose causada pela inalação de cobalto ou de uma liga de cobalto e outros metais-pesados, sendo, então, excluída da classificação original. Apesar de haver outros componentes na liga de metal-duro, o cobalto é o principal a induzir a doença pulmonar. Alguns autores afirmam que a doença intersticial se desenvolve apenas quando a exposição ao cobalto ocorre em associação com a exposição aos carbonetos de tungstênio ou ao pó de diamante, Fig. 8. Um pequeno número dos trabalhadores expostos desenvolve a DPMD, geralmente após 10 a 12 anos de exposição, também podendo ocorrer precocemente (Moreira, et al; 2010).

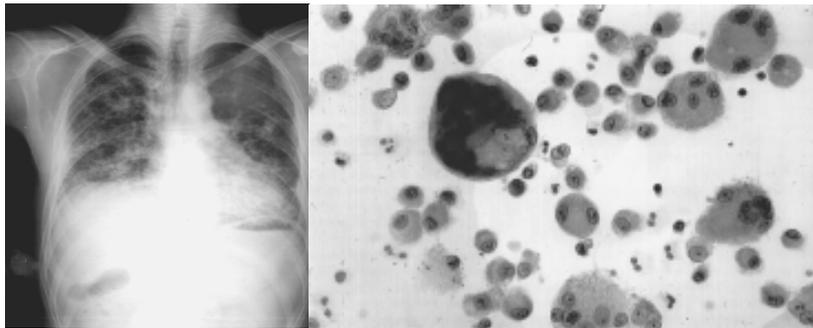


Fig. 8: Radiografia e análise macrofágica de um profissional afetado por fibrose intersticial causada por exposição aos metais-duros (WC-Co) e metais-pesados (W-Ni) (Chiappino, 2003).

Wallner et al. (2017), investigaram as causas de morte entre os trabalhadores de uma fábrica de metais-duros na Áustria, para trabalhadores empregados desde 1965 e após 1970, com acompanhamento até o final do ano de 2014. O foco foi relacionado a exposição ao cobalto, sendo avaliada por meio da higiene ocupacional e análise clínica. Durante aproximadamente 46 anos, observação 177 mortes de trabalhadores que trabalharam diretamente com a exposição de metal-duro, Destes, 159 foram confirmados pelo registro de mortalidade e informada a causa de óbitos; sendo 49 desses, morreram de câncer de pulmão, três doenças pulmonares crônicas.

Morfeld et al. (2017), investigaram a exposição de trabalhadores (antigos e atuais) em relação ao cobalto e tungstênio, em três fabricantes de metais-duros, na Alemanha. Dados históricos de higiene

ocupacional, foram extraídos para reconstrução de um perfil de um grupo de exposição homogêneo, ou similares, durante o período de 1970 e 2012. A análise analítica, consistiu em 6.865 trabalhadores, sendo 5.212 (75,9%) homens e 1.653 (24,1%) mulheres. A exposições individuais e concentrações médias de exposição cumulativas, foram estimadas para cobalto, níquel e tungstênio, como poeiras respirável e inalável; sendo: as concentrações médias de níquel inalável a longo prazo foram baixas em cerca de 0,01 mg.m⁻³ (mediana) e 0,02 mg.m⁻³ (média). Para cobalto inalável, foram encontradas 0,04 mg.m⁻³ (mediana) e 0,07 mg.m⁻³ (média), respectivamente. As concentrações inaláveis de tungstênio foram de 0,2 mg.m⁻³ (mediana) e 0,4 mg.m⁻³ (média). A concentração média a longo prazo da poeira respirável foi estimada em cerca de 0,25 mg.m⁻³ (mediana) e 0,35 mg.m⁻³ (média); para a fração

de poeira inalável, foram obtidos os resultados nos trabalhadores observados, em aproximadamente 1,3 mg.m⁻³ (mediana) e 1,7 mg.m⁻³ (média). Os estudos de *Morfeld et al.* (2017) não afirmaram evidências de riscos elevados de câncer de pulmão nos trabalhadores expostos ao cobalto e tungstênio, alegaram limitações metodológicas e as averiguações foram incompletas, nas causas de mortes, que impedem um estudo conclusivos sobre os efeitos da exposição aos metais-duros, riscos de mortalidades total e/ou por causas específicas.

McElvenny et al (2017), investigaram 1.538 trabalhadores, disponíveis para análise, expostos aos pós-metálicos de metal-duro, em 2 fabricas, na Inglaterra, onde preparavam desde as misturas dos pós-metálicos para o processo de compactação e produção de produtos sinterizados, num período de 1980 a 2014, sendo 85% sexo masculino e nascidos antes de 1950. Ocorreram 177 mortes durante o período de estudos, sendo que 19 trabalhadores morreram por câncer de pulmão, todas ocorridas em homens. Nesta pequena amostragem de trabalhadores na manufatura industrial de metal-duro, não afirmaram que o emprego na indústria de metal-duro aumenta o risco de morte por câncer de pulmão ou qualquer outra causa de morte. Afirmaram que a análise combinada internacional fornece conclusões mais firmes sobre o risco de mortalidade na indústria de metal-duro.

Mizutani et al. (2016), descreveram que durante os períodos de estudos, no Brasil, de 2010 a 2013, 320 pacientes foram atendidos no Serviço de Doenças Respiratórias Ocupacionais da Divisão de Pneumologia do Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, na cidade de São Paulo. Desses 320 trabalhadores, 5 (1,56%) foram diagnosticados com DPMD. A média de idade ao diagnóstico foi de 42,0 ± 13,6 anos. Todos os pacientes eram do sexo masculino e estavam trabalhando no momento da avaliação inicial. O tempo de exposição ocupacional, aos agentes nocivos WC-Co, foi de 11,4 ± 8,0 anos. Dentre as ocupações relatadas, 1 paciente trabalhava com manutenção de ferramentas industriais, 2 eram afiadores de ferramentas de corte industriais, e 2 eram operadores de retíficas. Após o diagnóstico de DPMD, os 5

profissionais foram afastados da exposição ocupacional, para estabilização e até a melhora da função pulmonar, receberam tratamentos específicos. Dois pacientes tiveram melhoras clínicas. Um paciente foi incluído em lista de transplante pulmonar, porém faleceu antes de sua efetivação e os demais apresentaram progressão da DPMD.

Alves e Della Rosa (2003), afirma que o Brasil não incluiu, todavia, um *BEI* para exposição dos pós-metálicos de cobalto, níquel, tungstênio e outros carbonetos, na fabricação de metais-duros e pesados, na Norma Regulamentadora n.º 7, (NR 07 PCMSO), Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional, os estudos toxicológicos podem levar à utilização de um indicador biológico para exposições ao cobalto e seus compostos. Os efeitos tóxicos observados nas exposições a diferentes compostos de cobalto são mais pronunciados nos pulmões, na forma de asma brônquica e fibrose. A relação dose-efeito e dose-resposta, bem como os valores de referência para a população sadia e não ocupacionalmente exposta, levou a *ACGIH* dos Estados Unidos a propor desde 1995 a utilização de um *BEI* (*Biological Exposure Indice*) para este tipo de exposição.

Moreira et al. (2010), afirmam que são reconhecidas, atualmente, três entidades patológicas relacionadas à inalação de poeiras de metais-duros: asma ocupacional; doença pulmonar intersticial, que ocorre em duas variedades — forma não específica e pneumonite interalveolar de células gigantes e uma alveolite do tipo alérgica ou pneumonite de hipersensibilidade. Essa última ocorre na fase aguda da exposição, sendo considerada uma fase inflamatória precoce e reversível da fibrose pulmonar.

A *ACGIH* (2021), classifica as substâncias em 5 grupos: A1 – Carcinogênico para humanos; A2 – Carcinogênico para animais; A3 – Carcinogênico para animais em condições especiais; A4 – Não classificável como carcinogênico para humanos e A5 – Não suspeito de carcinogênico para humanos. Para os produtos químicos, aplicados no processo de fabricação de metal-duro, as informações de carcinogenicidade foram fornecidas, Tabela 3, segundo os códigos de classificação dado pela *ACGIH*, que anualmente atualizam essas informações.

Tabela 3: Classificação de carcinogenicidade *ACGIH* (2021).

Agentes Químicos	CAS (2020)	Notações	Base TLV
Cobalto	[7440-78-4]	DSEN; RSEN; A3; BEI	Mudanças na função Pulmonar
Cobalto carbonila	[10210-68-1]	-	Edema pulmonar e danos no baço
Níquel carbonila	[13463-39-3]	A3	Inflamação no trato respiratório
Ferro pentacarbonila	[13463-40-6]	-	Edema pulmonar; Prejudica o CNS (sistema central nervoso);
Tungstênio	[7440-33-7]	-	Dano pulmonar
Carboneto de Silício Fibras (whiskers)	[409-21-2]	A2	Inflamação no trato respiratório, mesothelioma; câncer
Metal-duro (WC-Co)	[7440-48-4]	RSEN; A2	Pneumonia

WC	[12070-12-1]	RSEN; A2	Pneumonia
Etileno glicol (MEG)	[107-21-1]	A4	Inflamação no trato respiratório
Parafina	[8002-74-2]	-	Inflamação no trato respiratório; náusea
Metanol	[67-56-1]	PELE; BEI	Dor de cabeça; danos aos olhos; tontura; náusea
Acetona	[64-64-1]	A4; BEI	Inflamação no trato respiratório, irritação nos olhos; prejudica o CNS
Heptano	[142-82-5]	-	Prejudica o CNS e Inflamação no trato respiratório.
Xileno	[1330-20-7]	A4; BEI	Inflamação no trato respiratório, irritação nos olhos; prejudica o CNS
Hexano	[592-41-6]	PELE; BEI	Prejudica o CNS, irritação nos olhos e neuropatia periférica
Tolueno	[1088-88-3]	OTO; A4; BEI	CNS, deficiência visual e auditiva; prejudica o sistema reprodutivo feminino; perda de gravidez.
Álcool etílico (Etanol)	[64-17-5]	A3	Inflamação no trato respiratório
Álcool Isopropílico	[108-20-3]	-	Inflamação no trato respiratório e irritação nos olhos

O valor de IPVS – Imediatamente perigoso para vida ou saúde, serviu como parâmetro para toxicidade aguda mais importante em saúde ocupacional. Em meados da década de 1970, a OSHA e o NIOSH dos Estados Unidos estabeleceram o valor IPVS (IDLH) para muitas substâncias. É a concentração da substância no ar ambiente a partir da qual há risco evidente de morte, ou de causar efeito(s) permanente(s) à saúde, ou de impedir um trabalhador de abandonar uma área contaminada (Buschinelli; Kato, 2011). Para exposições por inalação, os efeitos no trato respiratório podem ser considerados como efeitos críticos. A evidência de carcinogenicidade do cobalto em humanos foi considerada inadequada e não pode ser avaliada quantitativamente, mas um fator de segurança extra a ser adicionado nas exposições estimadas a partir de outros efeitos pode ser necessário. Os riscos para o desenvolvimento de pneumoconiose são provavelmente dependentes das características físicas e químicas das partículas contendo cobalto transportadas pelo ar, mas essas informações foram ausentes na maioria dos estudos. Fazem alguns anos do reconhecimento que existe um risco excessivo de pneumoconiose quando a exposição ao pó contendo cobalto excede 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Recentemente, concentrações consideravelmente mais baixas que ocorrem na indústria de produção de diamantes e de cobalto deram origem a tais consequências. A irritação das membranas mucosas pode ocorrer a partir de 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Nordberg, 1994).

d) *Limites de tolerâncias, avaliação qualitativa e quantitativa de exposição aos agentes químicos*

Os efeitos causados pelas exposições a agentes químicos de curto ou longo prazo nos ambientes de trabalho são levados em conta para o estabelecimento de limites de exposições ocupacionais (LEO's). Os critérios para definição de LEO's variam de uma instituição para outra e apenas alguns deles possuem valores legais em seus países. No Brasil

(2019), os LEO's são denominados "Limites de Tolerância" (LT's), sendo definidos como "a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral", e encontram-se estabelecidos na forma de portarias e normas regulamentadoras (Buschinelli; Kato, 2011).

No artigo 189 da CLT (Brasil, 1943), consideram-se atividades ou operações insalubres aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os empregados a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos. Porém, esse texto, foi editado pela Portaria MTb nº 3.214, de 08 de junho de 1978, com o título NR 15 - Atividades e Operações Insalubres", de forma a regulamentar os artigos 189 a 196 da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, conforme redação dada pela Lei n.º 6.514, de 22 de dezembro de 1977, que alterou o Capítulo V (da Segurança e da Medicina do Trabalho) da CLT. Nesta nova redação, descreveu-se que a avaliação quantitativa de agentes aos quais os trabalhadores estão expostos no ambiente de trabalho, exige a determinação da concentração ambiental, no caso dos agentes químicos. Devem ser realizadas avaliações quantitativas para agentes químicos (Anexo nº 11) e poeiras minerais (Anexo nº 12), gerando direito ao adicional de insalubridade aos trabalhadores, incidente sobre o salário-mínimo regional, equivalente a: 40%, para insalubridade de grau máximo; 20%, para insalubridade de grau médio; e 10%, para insalubridade de grau mínimo, conforme item 15.2 da NR15 (Brasil, 2019).

Os limites de tolerâncias, considerados excedidos quando a média aritmética das concentrações ultrapassarem os valores estipulados na Tabela 2.

Tabela 2: Limites de tolerâncias NR15 (anexo 11) e ACGIH (2021), valores máximos de exposição aos agentes químicos (pós-metálicos), vapores orgânicos e solventes aromáticos.

Agentes Químicos	CAS (2020)	L.T (NR15) Brasil (48 h)	Grau de insalubridade	ACGIH (40 h) (TLV-TWA)	ACGIH (15 min) (TLV-STEL)
Cobalto	[7440-78-4]	-	-	0,02 mg.m ⁻³	-
Cobalto carbonila	[10210-68-1]	-	-	0,1 mg.m ⁻³	-
Níquel carbonila	[13463-39-3]	-	-	-	0,05 ppm
Ferro pentacarbonila	[13463-40-6]	-	-	0,1 ppm	0,2 ppm-
Negro de Fumo	[1333-86-4]	3,5 mg.m ⁻³	Máximo	3,5 mg.m ⁻³	-
Tungstênio	[7440-33-7]	-	-	3 mg.m ⁻³	-
Carboneto de Silício Fibras (whiskers)	[409-21-2]	-	-	3 mg.m ⁻³ 0,1 f/cc	-
Metal-duro (WC-Co)	[7440-48-4]	-	-	0,005 mg.m ⁻³	-
WC	[12070-12-1]	-	-	0,005 mg.m ⁻³	-
Etileno glicol (MEG)	[107-21-1]	-	-	25 ppm	50 ppm
Parafina	[8002-74-2]	-	-	2 mg.m ⁻³	-
Metanol	[67-56-1]	-	-	200 ppm	250 ppm
Acetona	[64-64-1]	780 ppm	mínimo	250 ppm	500 pmm
Heptano	[142-82-5]	-	-	400 ppm	500 ppm
Xileno	[1330-20-7]	78 ppm	médio	20 ppm	150 ppm
Hexano	[592-41-6]	-	-	500 ppm	1000 ppm
Tolueno	[1088-88-3]	-	-	20 ppm	-
Querosene	[8008-20-6]	-	-	200 mg.m ⁻³	-
Álcool etílico (Etanol)	[64-17-5]	780 ppm	mínimo	-	1000 ppm
Álcool Isopropílico	[108-20-3]	310 ppm	médio	250 ppm	310 pmm

Comparando-se os valores de limites de tolerâncias da NR 15 (Brasil,2019), TLV-TWA da ACGIH (2021) e IPVS, pode-se ter uma ideia dos riscos ocupacionais de longo, médio e de curto prazo. Há também o anexo 13 (Agentes químicos), porém a avaliação refere-se de forma qualitativa, ou seja, cuja insalubridade se caracteriza por inspeção realizada no local de trabalho, ou seja, o nexo causal entre o exercício profissional e a manipulação do produto. A relação das atividades e operações envolvendo os agentes químicos, para o processo de fabricação do metal-duro, considera a manipulação de cromo, o emprego de produtos contendo hidrocarbonetos aromáticos como solventes ou em limpeza de peças e outros compostos de carbono, neste caso os solventes contendo hidrocarbonetos aromáticos, a parafina ou outras substâncias cancerígenas afins. No anexo 13 da NR15, encontra-se em destaque o termo “operações diversas”, que neste estudo de caso, inclui a metalização ou revestimento metálico, a pistola, ou seja, a aspersão térmica de cromo duro e carbonetos (Brasil, 2019).

Os limites da ACGIH, nos EUA, legalmente não possuem valor, pois denominam-se *TLV*; referem-se “às concentrações de substâncias químicas no ar, às quais, acredita-se, a maioria dos trabalhadores podem estar expostos, repetidamente, dia após dia, durante toda uma vida de trabalho sem sofrer efeitos adversos à saúde”. A ACGIH (2021), afirma que os valores não se reconhecem como linhas divisórias entre condições seguras e perigosas e adverte que os trabalhadores podem ainda estar sujeitos a exposições dérmicas. Há

três tipos: os limites *TWA* ou média ponderada no tempo; os limites *STEL* ou limites de exposição para curto-prazo; e o *TLV-C (Ceiling)*, valor-teto de exposição (Buschinelli; Kato, 2011).

O limite por média ponderada no tempo (TLV-TWA) é a concentração média dos valores encontrados ao longo da jornada de trabalho (8 horas diárias, 40 horas semanais) e geralmente varia em função de inúmeras variáveis dos ciclos produtivos e ambientais. O limite de exposição por média ponderada de 15 minutos (TLV-STEL) não deve ocorrer mais de quatro vezes ao dia e é suplementar ao *TLV-TWA*. O limite de exposição *Ceiling* é a concentração máxima que não deve ser excedida em qualquer momento da exposição no trabalho. Geralmente é definida para substâncias irritantes e sua definição é a mesma do valor-teto da legislação brasileira. Os valores de exposição em curto prazo (15 minutos) TLV-STEL, se caracterizou como importantes para as substâncias irritantes e asfixiantes (Buschinelli; Kato, 2011). O *TLV-STEL* não substitui o TLV-TWA (ACGIH, 2021), sendo um complemento da média ponderada pelo tempo, que permite uma avaliação das flutuações. Os *TLV's* na ACGIH (2021), estabelecidos para trabalhadores, levando-se em conta para uma exposição de 8 horas por dia e 40 horas semanais; enquanto para LT NR15 (Brasil, 2019), a exposição estabelecida prevê 48 horas.

Colacioppo (2020) descreve a fórmula para adaptação dos limites de tolerâncias às jornadas não usuais de *Brief & Scala*, que leva em consideração a extensão da jornada de trabalho como determinante

para a redução proporcional do LEO, para cálculo do fator de redução (FC):

$$TLV_{\text{corrigido}} = TLV_{\text{substância}} \times FC \quad (1)$$

O fator de correção obtida na expressão (1) para uma mesma jornada de trabalho é o mesmo para todas as substâncias descrita na Tabela 2.

$$FC = \frac{40}{h} \cdot \frac{(168-h)}{128} \quad (2)$$

Onde *h* representa o número de horas da jornada e poderia ser aplicado a um LEO tido como média ponderada pelo tempo ou teto, com exceção dos agentes que produzissem irritação apenas. Este fator FC foi utilizado para adaptação da lista dos TLV's de 1977 e que passaram a constituir o Quadro 1 do Anexo 11 da NR 15 (BRASIL, 2019). Apenas para melhor entendimento desta correção (FC), ao refazer o cálculo verificou-se que existiu discrepância no fator utilizado (*f* = 0,78) e o fator que pode ser calculado (*f* = 0,75) (Colacioppo, 2020)

Para a maioria das substâncias os TLV's, ou LEO's, deve considerar os valores médios calculados como concentrações médias ponderadas pelo tempo, MPT, ou seja, cada concentração deve ser ponderada pelo tempo que foi medida, considerando-se toda a jornada de trabalho inclusive períodos de concentração zero:

$$MPT = \frac{(T_1 \times C_1) + (T_2 \times C_2) + (T_3 \times C_3) + \dots + (T_N \times C_N)}{\sum T_N} \quad (3)$$

Onde: MPT = Média Ponderada pelo Tempo, C = Concentração do agente, e T = Tempo que a concentração existiu ou tempo de exposição de um trabalhador a esta concentração.

O valor máximo permitido para exposição é calculado pela expressão (4), onde: TLV. = limite de tolerância para o agente químico e F.D. = fator de desvio (Brasil, 2019).

$$V_{\text{máximo}} = TLV \times FD \quad (4)$$

A Fundacentro (2016), alerta com relação a mais de uma substância (exposições múltiplas dos trabalhadores no ambiente de trabalho) deve-se avaliar os efeitos aditivos de exposição em vez de considerar o efeito isolado de cada substância. Se essas substâncias apresentarem efeitos tóxicos similares sobre o mesmo órgão ou sistema (fígado, rim, sistema nervoso central etc.), devem ser considerados os efeitos aditivos, na expressão matemática (Brasil, 2019):

$$\frac{C_m}{T_m} = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (5)$$

Na expressão (5) *C_m* e *T_m*, concentração e limite de exposição da mistura, *C_{1,2,..., n}*, significa concentração de cada substância química, *T_{1,2,..., n}*, seu respectivo limite de exposição (TLV ou LEO). Se as substâncias não apresentarem efeitos tóxicos similares

sobre o mesmo órgão ou sistema (fígado, rim, sistema nervoso central etc.), considerar, para a seleção do respirador, o maior FPMR calculado (FUNDACENTRO, 2016).

Tabela 3: Limites de tolerâncias NR15 (anexo 11) e ACGIH, valores máximos de exposição aos agentes químicos (pós-metálicos).

L.T (ppm ou mg.m ⁻³)	F.D.
0 a 1	3,00
1 a 10	2,00
10 a 100	1,50
100 a 1000	1,25
Acima de 1000	1,10

Os LEO's estabelecidos para concentrações de gases e vapores ou material particulado na atmosfera do ambiente do trabalho. As unidades em ppm válidas somente para gases e vapores. A relação entre massa do material particulado, gases ou vapores e volume do ar é expresso em mg m⁻³. Os valores em LEO de gases e vapores podem ser expressos em ppm ou mg m⁻³ e foram estabelecidos para as condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Para converter de uma unidade para outra, precisamos do peso molecular da substância (expressa em Dalton – Da – ou g.mol⁻¹, sendo 1 Da = 1 g.mol⁻¹). Isso serve para se comparar resultados de avaliações obtidas nas CNTP's fornecidos em unidades diferentes entre si ou diferentes de LEO's (Buschinelli; Kato, 2011).

A fórmula de conversão está baseada na pressão barométrica de 760 mm de mercúrio e 25 °C:

$$TLV_{(mg.m^{-3})} = \frac{TLV_{(ppm)} \times \text{Peso molecular (substância)}}{24,45} \quad (6)$$

Para a higiene ocupacional, saúde e ambiental, se faz importante identificar os efeitos que ocorrem em uma exposição relativamente baixa, ou seja, os efeitos críticos podem ser vistos como cruciais para uma ação preventiva. O banco de dados limitado disponível sobre a toxicidade do cobalto torna difícil selecionar efeitos críticos (Nordberg, 1994).

A ACGIH (2021) recomenda um Limite de tolerância de 10 mg.m⁻³ para particulados "inertes", ou não classificáveis de outra forma (Colacioppo, 2020). A ACGIH adverte que "os TLV's não representam uma linha fina de separação entre um ambiente de trabalho saudável e não saudável, ou um ponto no qual ocorrerá um dano à saúde". Os TLV's não protegerão adequadamente todos os trabalhadores, e sim minimizar os efeitos indesejados sobre a saúde. Alguns trabalhadores podem apresentar desconforto ou até efeitos adversos mais sérios à saúde quando expostas a substâncias químicas em concentrações iguais ou mesmo inferiores aos limites de exposição. A ACGIH também divulga, para cada substância, publicações complementares ao livro do TLV, estudos técnicos que

justificam os valores estabelecidos (Buschinelli; Kato, 2011).

e) *Equipamentos de proteção respiratória para poeiras metálicas*

Buschinelli e Kato (2011), menciona que a OSHA exige que, para o trabalhador estar em um ambiente com concentração do agente químico superior ou igual ao IPVS, ele deve estar protegido com respiradores com reserva de ar ou ar mandado. A preocupação principal é com substâncias corrosivas, asfixiantes ou com efeitos agudos sobre o sistema nervoso central. Este parâmetro é derivado de dados obtidos com animais de laboratório e com acidentes ocorridos com trabalhadores expostos, quando disponíveis, e expresso em ppm ou mg.m⁻³.

Moreira *et al.* (2010), acompanharam um paciente de 27 anos, que trabalhava há 8 anos como afiador de ferramentas de metal-duro (serra, serrotes e facas de corte), trabalhava por oito horas diárias, equivalente a 40 horas semanais, sem o uso do EPI, ou EPR - equipamento de proteção respiratória. Esse profissional utilizava no processo de retificação/afiação um rebolo diamantado sintético, em um ambiente fechado. Baseado na história desse trabalhador, nos exames de imagem (radiografia de tórax) e no exame anatomopatológico, foi feito o diagnóstico de pneumoconiose por metal-duro ou fibrose pulmonar. O tratamento da pneumopatia por exposição a metal-duro envolve o afastamento completo da exposição ao agente nocivo e corticoterapia em doses altas. Quando já existe fibrose pulmonar extensa, uma apresentação de estudo de caso raro, não há significativa resposta ao tratamento.

O EPI se faz obrigatório por parte do trabalhador, de acordo com a Norma Regulamentador nº. 6 – (NR 06-EPI) Equipamentos de proteção individual, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. A empresa é obrigada a fornecer aos empregados o EPI adequado ao risco, de forma gratuita, em perfeito estado de conservação e funcionamento, mediante orientação de um profissional tecnicamente habilitado. Além disso, o empregador deve exigir o uso do EPI por parte do trabalhador, orientar e treiná-lo sobre o uso

adequado, guarda e conservação. O Trabalhador deve usar o EPI apenas para a finalidade que se destina, deve cumprir as determinações do empregador sobre o uso adequado, entre outros (Brasil, 2018).

Nesta norma NR 06-EPI (Brasil, 2018) descrevem os tipos EPI's para proteção respiratória, disponíveis no mercado, como seguem: 1) respiradores purificadores de ar não motorizados, as peças semifaciais filtrantes (PFF) do tipo PFF1, PFF2 e PFF3, para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas, fumos e radionuclídeos; 2) respiradores purificadores de ar motorizados, com vedação facial tipo peça semifacial ou facial inteira para proteção das vias respiratórias; 3) de adução de ar tipo linha de ar comprimido, 4) respiradores de fuga; tipo bocal e; 5) os de adução de ar tipo máscara autônoma; este último, específico para trabalhos em ambientes ou atmosferas Imediatamente Perigosas à Vida e a Saúde (IPVS).

O EPR visa a proteção do usuário contra a inalação de ar contaminado ou de ar com deficiência de oxigênio. O EPR adequado à exposição a agentes químicos é aquele que reduz a exposição do usuário a valores abaixo dos valores considerados aceitáveis, como, por exemplo, o Limite de Exposição Ocupacional (LEO). Para a seleção do respirador com nível de proteção adequado à exposição, é necessário conhecer o Fator de Proteção Mínimo Requerido (FPMR) para o respirador (FUNDACENTRO, 2016), o qual foi determinado pela expressão:

$$FPMR = \frac{\text{Concentração Média}}{TLV (ACGIH) \text{ ou } LT (NR15)} \quad (7)$$

A FUNDACENTRO (2016) recomenda calcular a concentração mais crítica de exposição prevista nas operações de rotina ou de emergência é maior do que o limite de exposição ocupacional aplicável (LEO), ou seja, utilizando a expressão (6); ou obedecendo a regulamentos ou legislação específica. Uma vez determinado o FPMR, a seleção é feita escolhendo o EPR, conforme apresentado na Tabela 4. Se o FPMR for menor que 1, não é necessário o uso de respirador, exceto para aerossóis, como os particulados ou fibras, exemplo: asbesto, sílica, poeiras metálicas, entre outros.

Tabela 4: Fatores de proteção atribuídos (FPA) (FUNDACENTRO, 2016).

Tipo de respirador	Tipos de coberturas das vias respiratórias			
	Com vedação facial		Sem vedação facial	
	Peça semifacial	Peça facial inteira	Capuz	outros
A - Purificador de ar não motorizado	10	100	-	-
motorizado	50	1000	1000	25
B – De adução de ar				
B1 – Linha de ar comprimido				
de demanda sem pressão positiva	10	100	-	-
de demanda com pressão positiva	50	1000	-	-
de fluxo contínuo	50	1000	1000	25

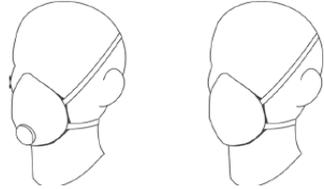
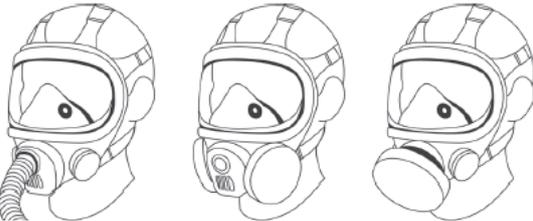
B2 – Máscara autônoma (circuito aberto ou fechado) de demanda sem pressão positiva de demanda com pressão positiva	10 -	100 10000	-	-
--	---------	--------------	---	---

A seleção do EPR é feita escolhendo (Tabela 5) um respirador que possua Fator de Proteção Atribuído (FPA) maior do que o FPMR, Com base na Tabela 4, deve-se selecionar um respirador ou tipo de respirador, considerando a Tabela 5, para a escolha final, a adequação do respirador ao usuário, à tarefa (o tipo de trabalho a ser realizado, o nível de esforço físico, a duração e a frequência da tarefa, necessidades quanto à mobilidade, comunicação e visão etc.) e ao ambiente de trabalho. Se o contaminante for irritante aos olhos ou sua concentração no local de trabalho for tal que cause danos aos olhos, selecionar um respirador com peça facial inteira, capuz ou capacete (FUNDACENTRO, 2016).

O Programa de proteção respiratória (PPR) da FUNDACENTRO (2016) apresenta um roteiro de seleção e procedimentos para a seleção dos respiradores para uso rotineiro que permite obter o FPMR e o FPA pelo método das bandas de controle, sendo baseado em conceitos e parâmetros técnico-científicos modernos, segundo tendências internacionais, não havendo, contudo, equivalência com o critério legal, que exige o conhecimento da concentração mais crítica de exposição prevista. Se o

agente químico, gerado mecanicamente, for um particulado, poeiras ou névoas, recomenda-se a utilização de filtros mecânicos tipo classe P1 ou peça semifacial filtrante para partículas PFF1, se o FPMR for igual a 5. Se o FPMR for menor ou igual 10), para particulados gerado mecanicamente ou termicamente gerado (fumos), usar filtro classe P2 ou peça semifacial filtrante para partículas PFF2, o for névoa à base de tinta, esmalte ou verniz, contendo solvente orgânico, usar filtro combinado: filtro químico contra vapores orgânicos e filtro para partículas classe P2. Para os respiradores com peça facial inteira, o FPA é 100 somente quando equipado com, no mínimo, filtro P2; não se deve utilizar filtro P1 com esse tipo de respirador. o FPA é 1000 para respiradores com cobertura das vias respiratórias que cobrem a face, a cabeça e se estendem até os ombros e para capuzes considerados com vedação facial, possuem uma peça semifacial em seu interior. No caso dos metais-duros e metais pesados, substâncias com limite de exposição menor ou igual a 0,05 mg.m⁻³, deve-se usar filtro classe P3 (ou PFF3 se FPMR for menor que 10) (FUNDACENTRO, 2016).

Tabela 5: Cobertura das vias respiratórias (FUNDACENTRO, 2016).

Tipos	Exemplos
peça semifacial filtrante (PFF) sem e com válvula de exalação.	
coberturas das vias respiratórias cobrindo a boca, o nariz e o queixo (ISO 16975.1)	
coberturas das vias respiratórias cobrindo a face (ISO 16975.1)	

coberturas das vias respiratórias cobrindo a cabeça (ISO 16975.1)



Protetor facial

Capacete

Capuz

O FPA se valida quando o respirador for utilizado conforme as recomendações contidas no PPR (seleção correta, ensaio de vedação, treinamento, política da barba etc.) e com a ficha do Certificado de Aprovação (CA) do EPI, de acordo com a NR 06 EPI (Brasil, 2018). O FPA não é aplicável para respiradores de fuga. Se o contaminante for irritante aos olhos ou a sua concentração no local de trabalho for tal que cause danos aos olhos, conforme indicado Tabela 3, selecionar um respirador com peça facial inteira, capuz ou capacete (FUNDACENTRO, 2016).

II. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO AMBIENTE DE TRABALHO

Seguem algumas imagens, Fig.9 até a Fig.20, que se referem as etapas de fabricação de ferramentas e produtos em metais-duros e/ou metais-pesados, de uma empresa metalúrgica em São Paulo, Brasil. Trata-se de uma empresa brasileira cuja classificação

nacional das atividades econômicas (CNAE), possui nexos com os números 25.32-2 – Produção de artefatos estampos de metal, Metalurgia do pó e 25.43-8 - Fabricação de ferramentas, conforme descrito na Norma regulamentadora N° 04 (NR 04 SESMT) Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (Brasil, 2016). A inspeção no local de trabalho ou avaliação das condições do ambiente de trabalho, se deu forma qualitativa, de modo a tornar compatível permanentemente o trabalho preventivo, preservação da vida e evitar as doenças (DPMD) nos trabalhadores.

Nesta etapa, Fig. 9(a), o trabalhador estava realizando a manipulação e uma mistura dos pós-metálicos, de forma manual, com as mãos, tendo o contato direto com o pó, onde através da manipulação produzirá a suspensão dos pós, que podem ser inalados, tragados ou entrar em contato direto com a pele ou olhos.



Fig. 9(a): Pesagem dos pós-metálicos; (b). Mistura dos pós-metálicos com solventes; e (c). Enchimento da mistura híbrida no moinho de bolas de alta energia.

Na Fig. 9(b), o trabalhador adicionou solventes aromáticos (líquidos inflamáveis), podendo ser utilizados diversos, de acordo com a composição química das ligas WC-Co ou WC-Ni, os álcoois (isopropílico, etano, metanol, entre outros) e os hidrocarbonetos (querosene, heptano, hexano, nafta, entre outros).

Na Fig.9(c), o trabalhador está adicionando essa mistura híbrida (pós e solvente) ao equipamento de moagem de alta energia denominado Moinho *Atritor*, sendo feita a moagem com bolas de metal-cerâmica, e a homogeneização dos pós-metálicos, variando o tempo de 1 hora até 6 horas, dependendo da quantidade de material adicionado. A capacidade máxima deste equipamento é de 500 kg de adição da

mistura e os particulados de WC-Co e WC-Ni podendo variar de 0,1 a 10 micra (μm), conforme aplicação do produto.

Na Fig. 10(a), o trabalhador faz o descarregando da mistura híbrida do moída e homogeneizada do moinho *Atritor*, Fig.10(b), em seguida foi feita a decantação, para separar o líquido do sólido, o excesso de líquido. Nesta etapa o operador tem contato direto com os produtos químicos e solventes, Fig. 10(c), resultando em uma mistura híbrida, o pó misturado com solventes quando inalado pode ocasionar irritação das vias respiratórias. Relato do trabalhador evidencia irritação e rachaduras na pele, partes das mãos e braços.



Fig. 10(a): Descarga da mistura moída com solvente aromático; (b) Moinho Attritor de alta energia; e (c). fechamento da válvula do moinho Attritor e decantação para separação do sólido e líquido.

Após a decantação e a retirada do excesso de líquido do recipiente, a carga é colocada em cima de um carrinho de transporte, Fig. 11 (a), para o setor de secagem. Na Fig. 11 (b), o trabalhador retira o pós-metálico umedecido do recipiente, na forma de lama, colocando em muflas abertas para vaporização do solvente, no qual denomina-se "Banho Maria". Após algumas horas de secagem, Fig. 11(c), o trabalhador recolhe o pó seco, a uma temperatura de aproximadamente 120°C. Neste setor, percebe-se um odor muito forte de solvente no meio ambiente de trabalho. Na etapa de vaporização o operador foi exposto aos agentes nocivos como: vapores aromáticos gerados pelo processo de secagem e inalação de pós-metálicos. Há registros de incidentes neste setor, princípios de incêndio, queima dos pós-metálicos e riscos de explosão devido a quantidade de vapores.



Fig. 11(a): Transporte da massa mistura para outro departamento.; (b) colocação da mistura dentro de um forno para vaporização do álcool; e (c). Secamento da mistura.

Após a secagem dos pós-metálicos, foi realizado o peneiramento e a adição de aglutinantes como a parafina, Monoetilenoglicol (MEG) e o polietilenoglicol (PEG), Fig. 12(a). Esses aglutinantes

são introduzidos na mistura para facilitar a escoabilidade e compressibilidade na etapa de compactação, Fig. 12(b). A Fig. 12(c), apresenta um trabalhador realizando a montagem de uma matriz

móvel para compactação, com a punção inferior, o punção superior e o fixo central. Os riscos ambientais destacam-se por: riscos de acidentes, ergonômicos e inalação de pós-metálicos.



Fig. 12(a): Setor de peneiramento e aglutinação e; (b) Processo de prensagem com matriz móvel. e (c). Montagem da matriz de compactação móvel.

Após a etapa de compactação, os compactados a verde, Fig. 13(a) seguem para o setor de pré-sinterização e continuam o processo, sendo colocados em caçambas de grafite Fig. 13 (b) e depois colocados em um forno com atmosfera de hidrogênio a temperaturas que podem variar de 750 de até 1000 °C. Essa etapa consiste na remoção do aglutinante (parafina ou hexano ou MEG ou PEG), a fim de obter

propriedades de resistências à ruptura para facilitar na próxima etapa, chamada de pré-usinagem. Nesta etapa o trabalhador encontrou-se exposto aos agentes nocivos: inalação de pó de grafite, fumos, óxidos e gases tóxicos proveniente da eliminação do aglutinante, riscos de incêndio ou até explosão conforme relatos dos trabalhadores.



Fig. 13(a): Peças compactadas a verde; (b) Preparação e colocação do compactado em caçambas de aço para sua entrada no forno com atmosfera de hidrogênio; e (c). Fornos de pré-sinterização.

A após 72 horas dentro do forno de pré-sinterização (atmosfera de hidrogênio), os compactados a verde são encaminhados para o setor de pré-usinagem, considerada a segunda etapa mais crítica para a área da segurança do trabalho com relação a liberação de aerodispersóides no meio

ambiente de trabalho. Na Fig. 14(a), (b) e c compactado a verde sendo torneado. Nos detalhes das imagens, percebe-se a dispersão do pó residual visível em cima do carrinho de avanço e no barramento do torno mecânico.



Fig. 14(a): Torneamento de uma bucha; (b) Placa de torno de movimento para execução do torneamento de um cilindro. e (c). tarugo de grande dimensão para torneamento.

O operador executa cortes nos compactados a verde (*blanks*) com um disco diamantado específico conforme apresentado na Fig. 15 (a), em uma peça grande e Fig. 15 (b). Percebe-se, neste setor, a geração

de muito aerodispersóides no ambiente de trabalho, a falta do uso de EPR por parte da grande maioria dos trabalhadores e a falta do uso de luvas de látex, foram percebidos, conforme apresentado na Fig. 15 (c).



Fig. 15(a): Pré-usinagem de tarugos de misturas compactadas, (b) corte de *blanks* cilíndricos de metal-duro compactado e (c) profissional apresentando as mãos impregnadas de pós-metálicos de metal-duro.

Na Fig. 16(a) é apresentada uma peça sendo usinada pela técnica de fresamento CNC, é uma ferramenta de corte rotativa anatômica na forma de compactada a verde e na Fig. 16 (b), um trabalhador

aplicado um jato de gás de nitrogênio em baixa vazão para eliminação do excesso de pó residual nos cantos vivos da peça.



Fig. 16(a): Fresamento CNC em 3 eixos; (b) peça a verde acabada; e (c). limpeza da peça a verde para remoção de pós impregnados nos cantos ou rebaixo da peça, com nitrogênio gasoso em baixa pressão.

O próximo passo é a sinterização, sendo utilizados dois tipos de fornos: um a vácuo, Fig.17(a) e o outro *sinterHIP*, Fig.17(b), onde o ciclo térmico total leva em torno de 12 horas com uma temperatura podendo variar de 1350 a 1500°C, dependendo da liga de WC-Co ou WC-Ni. Nesta etapa o forneiro somente

foi exposto aos riscos de acidentes e a radiação não-ionizante, através de um pirômetro para avaliar a temperatura do forno, leitura direta na observação da incandescência de um filete de tungstênio. A Fig. 17 (c) o produto sinterizado em bruto, pronto para ir para o setor de retificação.



Fig. 17(a): Parte interno de um forno de Sinterização a vácuo; (b) produto sendo colocado no forno sínter HIP; e (c) produto sinterizado no forno sínter HIP.

No setor de retificação, encontram-se máquinas como a retifica plana, cilíndrica universal (externo e interno) retifica *centerless* (sem centro) e

afiadoras, de modo geral. Para a retificação plana, Fig. 18(a) foi realizado o desbaste e acabamento superficial da altura das peças. Na Fig. 18(b) uma retificador de

máquina operatriz, a retífica cilíndrica externa; executando a remoção do sobremetal do diâmetro externo da peça. Neste processo foi possível ver a geração de vapores d'água, formando neblinas e/ou pulverizados. Na Fig. 18(c) a operação é a retificação do furo interno da peça sinterizada, tornando em uma ferramenta especial acabada. Os trabalhadores no processo de retificação de metal-duro muitas vezes se

deparam com a necessidade de utilizarem fluidos de corte à base de água, óleo solúvel de corte ou não, constatou-se que estes poderiam encontrar-se contaminados por *Mycobacterium immunogenum*, considerados mico bactérias não tuberculosas, causando pneumonite de hipersensibilidade (Mizutani et al. 2016).



Fig. 18 (a): Retifica Plana.; (b) Retifica Cilíndrica. e (c). Retifica Cilíndrica Universal.

Existem outras técnicas a serem utilizadas no processo de fabricação de produtos em metais-duros e metais-pesado, como o uso de jateamento seco para a limpeza de peças em bruto 19(b) e (c), eletroerosão com o meio líquido de resfriamento, a base de querosene, Fig. 19(a). Dependendo do tipo, geometria, classe, raio de canto e tamanho da pastilha, pode ser elaborado um eletrodo para o desbaste com descarga elétrica e ajustado de acordo com o projeto final.

Na Fig.19(a), é apresentada um operador de eletroerosão que tem o contato com o meio aquoso, o

querosene e está exposto a vapores de querosene sem a devida proteção do maquinário (enclausuramento) e sem o EPI. Na Fig. 19 (a), é apresentada o processo de jateamento a seco, podendo ser com pó de SiC (Carboneto de Silício) ou com esfera de vidro (sílica ou quartzo) Percebe-se no local de trabalho, na Fig. 19(b), acúmulo de material particulado no piso e em cima da bancada; a falta de sistema de exaustão e sem ventilação para a remoção do aerodispersóides proveniente do jateamento.



Fig. 19(a): Processo de eletroerosão por penetração, (b) processo de jateamento em peças de METAL-DURO (c). Acúmulo de poeiras de SiC no chão.

III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o surgimento do TLV-TWA da ACGIH de $0,005 \text{ mg.m}^{-3}$ para metais-duros contendo cobalto, carbonetos de tungstênio e ou ligas cobalto, na forma de pós-metálicos, caracterizando uma notação como sensibilização respiratória e doença ocupacional, a pneumoconiose, é possível realizar a avaliação quantitativa, o que não era possível antes de 2016. No Brasil, era realizada somente a avaliação qualitativa, conforme a NR15, ou seja, com a inspeção no local de

trabalho mediante da comprovação de laudo técnico elaborado por um engenheiro ou médico do trabalho conforme definido pela CLT. Para a prevenção da saúde do trabalhador, o nível de ação deve estar abaixo de 50% do Limite de Tolerância. Acima do limite de tolerância, caracteriza-se insalubridade de grau máximo, em que o profissional terá o direito de 40% de adicional de insalubre sobre o salário-mínimo regional; e acima do valor máximo de $0,015 \text{ mg.m}^{-3}$, para um fator de desvio igual a 3, uma vez ultrapassado, caracteriza risco grave e iminente ou IPVS.

Os setores mais críticos, na geração de aerodispersóides na fabricação de produtos e ferramentas de metais-duros, são os setores de peneiramento e usinagem. Os diâmetros aerodinâmicos dos particulados inferiores a 10 μm , poeiras inaláveis, podem implicar no surgimento da DPMD, conforme relatados por profissionais da área da medicina do trabalho. A prevenção à saúde desses trabalhadores, na indústria analisada, se dá através da limitação do tempo de exposição aos pós-metálicos e no uso correto do EPR, que está em função do tamanho do particulado dinâmico e do FPMR.

A DPMD ocorre devido as exposições elevadas de concentrações de aerodispersóides e poderá surgir depois muitos anos. Neste trabalho identificou-se a importância do treinamento dos trabalhadores, mas não apenas dos que atuam diretamente com o produto, mas das equipes multidisciplinares da gestão, segurança e medicina do trabalho.

IV. LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS DE TERMOS

BEI- *Biological Exposure Indice*, tradução (*Índice de exposição biológica*)
 BEIp- BEI para carboneto aromático policíclico.
 DA- Diâmetro Aerodinâmico dos particulados.
 DSEN: Sensibilização Dérmica.
 DPMD- Doença pulmonar por metal-duro.
 EC- Éster de celulose.
 EPI- Equipamento de proteção individual.
 EPR- Equipamento de proteção respiratória.
 IPVS- Imediatamente Perigoso para vida ou saúde, tradução de IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*).
 LEO- Limites de Exposição Ocupacional.
 LT- Limite de tolerância.
 mg.m^{-3} - miligramas por metro cúbico de ar.
 NHO- Norma de Higiene Ocupacional.
 NIOSH- *National Institute for Occupational Safety and Health*.
 NR- Norma regulamentadora.
 OSHA- *Occupational Safety and Health Administration*.
 PELE- contribuição potencial da exposição por via cutânea para a exposição total.
 PFF- peças semifaciais filtrantes.
 PNOS- partículas não especificadas de outra maneira
 ppm- partes de vapor ou gás por milhão de partes de ar contaminado.
 PVC- Policloreto de vinila.
 RSEN: Sensibilizante respiratório.
 SEN: Sensibilizante.
 STEL- *Short-Term Exposure Limit* - limites de exposição para curto-prazo.
 TLV- *Threshold Limit Values*, concentrações de substâncias químicas no ar.
 TWA- *Time-Weighted Average* - média ponderada no tempo.

WC-Co- Liga de carboneto de tungstênio e cobalto, denominada metal-duro.

W-Ni- Liga de tungstênio e níquel, denominada metal-pesado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos responsáveis e aos trabalhadores que permitiram o acesso aos setores da fábrica sem interferir na rotina de trabalho durante o período de avaliação e inspeção.

REFERENCES RÉFÉRENCES REFERENCIAS

1. Abd-Elghany, A.A.; Daoush, W. M.; El-Kady, O. A.; Ghanem, M.A. and El-Nikhaily, A. E., (2018) "Fabrication, Microstructure, Hardness and Magnetic Properties of (W:Ti) C-Ni Cemented Carbides using Atomized Ni Powder" *Global Journal of Researches in Engineering: (G) Industrial Engineering*. Volume XVIII Issue I Version I.
2. ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2021) "TLVs and BEIs: based documentation of threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices" Cincinnati (OH);
3. Alam, M.E.; Wang, J.; Henager Jr., C.H.; Setyawan, W.; Odette, G.R.; (2021) "The effect of hot rolling on the strength and fracture toughness of 90W-7Ni3Fe tungsten heavy metal alloys" *Materials Science & Engineering A* doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141738>.
4. Alves, A. N. L.; Della Rosa, H. V. 2003 "Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos". *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* vol. 39, n. 2, abr./jun., 2.
5. Brasil. Decreto-lei nº 5.452, de 1 de maio de 1943. Aprova a consolidação das leis do trabalho. Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm> acesso em: 26/09/2021
6. Brasil. Ministério do Trabalho e Previdência. (2016) "NR-4 - Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho" Portaria MTPS 510, de 29/04/2016. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-04.pdf> Acesso em: 26/09/2021.
7. Brasil. Ministério do Trabalho e Previdência. (2018) "NR-7 - Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional" Portaria MTb 1031, de 06/12/2018. Brasília. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/segur->

- anca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-7-nr-7> Acesso em: 03/10/2021.
8. Brasil. Ministério do Trabalho e Previdência. (2018) "NR-6 - Equipamento de Proteção Individual" Portaria MTb 877, de 24/10/2018. Brasília. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-6-nr-6>> Acesso em: 03/10/2021.
 9. Brasil. Ministério do Trabalho e Previdência. (2019) "NR-15 - Atividades e operações insalubres" Portaria SEPRT N.º 1.359, DE 09 de dezembro de 2019. Brasília: Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-15.pdf>> Acesso em: 26/09/2021.
 10. Buschinelli, J. T.; Kato, M. (2011) "Manual para interpretação de informações sobre substâncias químicas" Fundacentro, São Paulo. Disponível em: <<http://antigo.fundacentro.gov.br/biblioteca/biblioteca-digital/publicacao/detalhe/2013/3/manual-para-interpretacao-das-informacoes-sobre-substancias-quimicas>> Acesso em: 26/09/2021.
 11. CAS Chemical Abstract Service. Chemical Registry. 2020 Disponível em: <https://web.cas.org/cgi-bin/regreport.pl> acesso em 03/01/2021.
 12. Colacioppo, S. "Higiene e Toxicologia Ocupacional" (2020). Disponível em ABHO <https://www.abho.org.br/livro-higiene-e-toxicologia/> Acesso: 03/10/2021
 13. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 481 (1993). "Workplace Atmospheres: Size Fraction Definitions for Measurement of Airborne Particles. Brussels: BSI, 1993.
 14. Fernandes, C.M.; Senos, A.M.R. Cemented carbide phase diagrams: A review. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29 (2011) 405–418.
 15. FUNDACENTRO (2001) "Norma de Higiene Ocupacional NHO 03 - Método de Ensaio: Análise Gravimétrica de Aerodispersóides Sólidos Coletados Sobre Filtros e Membrana" Disponível em: <<http://antigo.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2013/3/nho-03-metodo-de-ensaio-analise-gravimetrica-de-aerodispersoides-solidos-coletados-sobre>> Acesso: 05/10/2021
 16. FUNDACENTRO (2009) "Norma de Higiene Ocupacional NHO 08 - Coleta de Material Particulado Sólido Suspenso no Ar de Ambientes de Trabalho" Disponível em: <<http://antigo.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2013/3/nho-0-coleta-de-material-particulado-solido-suspenso-no-ar-de-ambientes-de-trabalho>> Acesso 05/10/2021
 17. FUNDACENTRO (2016) "Programa de Proteção Respiratória: Recomendações, seleção e uso de respiradores" Disponível em: <<http://antigo.fundacentro.gov.br/biblioteca/biblioteca-digital/publicacao/detalhe/2016/6/programa-de-protecao-respiratoria>> Acesso 08/10/2021
 18. García, J.; Collado Ciprés, V.; Blomqvist, A.; Kaplan, B. (2018). Cemented carbide microstructures: A review. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 80. 40-68. 10.1016/j.ijrmhm.2018.12.004.
 19. Mcelvenny, D.; MacCalman, L.; Sleuwenhoek, A.; Davis, A.; Miller, B.; Alexander, C.; Cowie, H.; Cherrie, J.; Kennedy, K.; Esmen, N.; Zimmerman, S.; Buchanich, J.; Marsh, G. (2017). "Mortality Among Hardmetal Production Workers: UK Cohort and Nested Case–Control Studies". *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 59. 1. 10.1097/JOM.0000000000001036.
 20. Mizutani, R. F.; Terra-Filho, M. Lima, E.; Freitas, C.S.G., Chate, R. C.; Kairalla, R. A.; Carvalho-Oliveira, R.; Santos, U. P. (2016) "Doença pulmonar por metal-duro: uma série de casos. *J Bras Pneumol*. 2016; 42(6): 447-452 <https://doi.org/10.1590/S1806-37562016000000260>.
 21. Moreira, M.A.; Cardoso, A. R.O.; Silva, D.G.S.T.; Queiroz, M.C.C.A.M.; Oliveira, A.A.; Noleto, T.M.A.; (2010) "Hard metal pneumoconiosis with spontaneous bilateral pneumothorax". *J Bras Pneumol*. 2010 Jan-Feb; 36(1): 148-51. English, Portuguese. doi: 10.1590/s1806-37132010000100020. PMID: 20209319.
 22. Morfeld, P.; Groß, J. V.; Erren, T. C.; Noll, B.; Yong, M.; Kennedy, K. J.; Esmen, N. A.; Zimmerman, S. D.; Buchanich, J. M.; Marsh, G. M. (2017) "Mortality Among Hardmetal Production Workers: German Historical Cohort Study". *Journal of Occupational and Environmental Medicine: December 2017 - Volume 59 - Issue 12 - p e288-e296*. doi: 10.1097/JOM.0000000000001061
 23. Muniandy, P.M.; Amin, S.Y.M; Ibrahim, M.H.I. (2017). "Review on Sintering Process of WC-Co Cemented Carbide in Metal Injection Molding Technology". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 165. 012017. 10.1088/1757-899X/165/1/012017.
 24. Nie, H.; Zhang, T. (2019). "Development of manufacturing technology on WC-Co hardmetals." *Materials Science -Tungsten*. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs42864-019-00025-6>
 25. Nordberg, G, "Assessment of risks in occupational cobalt exposures" (1994); Department of Environmental Medicine, Umeå University, S-901 87 Umeå, Sweden. *Science of The Total Environment* Volume 150, Issues 1–3, 30 June 1994, Pages 201-207 [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90151-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90151-1)

26. Svartengren, M.; Bryngelsson, I-L.; Marsh,G.; Buchanich, J.; Zimmerman,S.; Kennedy,K. Esmen, N.; Westberg, H. "Cancer Incidence Among Hardmetal Production Workers: The Swedish Cohort" (2017). JOEM Volume 59, Number 12, December 2017.
27. Wallner, P.; Kundi, M.; Moshammer, H.; Zimmerman, S.D.; Buchanich, J.M.; Marsh, G.M. (2017) "Mortality Among Hardmetal Production Workers: A Retrospective Cohort Study in the Austrian Hardmetal Industry" Journal of Occupational and Environmental Medicine: December 2017 - Volume 59 - Issue 12 - p e282-e287. doi: 10.1097/JOM.0000000000001046.
28. Yang, Y.; Zhang, C.; Wang, D.; Nie, L.; Wellmann, D.; Tian, Y. (2020). "Additive manufacturing of WC-Co hardmetals: a review". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 108. 10.1007/s00170-020-05389-5.