

FELIPE ULLMANN FURTADO DE LIMA

AVALIAÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS PARA AGENTES QUÍMICOS
PRESENTES NO AR EM OFICINA DE PEQUENO PORTE DE
FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

São Paulo
2015

FELIPE ULLMANN FURTADO DE LIMA

AVALIAÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS PARA AGENTES QUÍMICOS
PRESENTES NO AR EM OFICINA DE PEQUENO PORTE DE
FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

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

São Paulo
2015

RESUMO

Para o presente trabalho, como uma primeira aproximação, avaliou-se a exposição ocupacional a agentes químicos provenientes de atividades de fabricação de estrutura metálica realizada em oficina de uma empresa de pequeno porte. Procedeu-se o levantamento das características dessa empresa e o levantamento de informações na literatura técnica. As avaliações referidas compreendem do tipo qualitativa para os agentes químicos totais e quantitativa para particulados inaláveis, e óxidos de ferro e manganês, sendo esta última feita com o auxílio de instrumentos de medição e de um laboratório de higiene ocupacional contratado para realização de análise de amostras. O resultado das análises permite concluir que os limites de exposição ocupacional para as substâncias avaliadas não foram ultrapassados, porém para as atividades de soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos, o Nível de Ação para fumos metálicos foi excedido. Com base no estudo apresentado, verificou-se que os trabalhadores estão expostos principalmente a poeiras e fumos metálicos gerados nas operações, ou pela proximidade com esses processos no ambiente de trabalho, sendo o grupo dos soldadores o de maior risco na empresa.

Palavras-chave: Avaliação ambiental. Agentes químicos. Oficina de fabricação. Estruturas metálicas. Construção civil.

ABSTRACT

For this paper, as a first approximation, we evaluated the occupational exposure to chemicals from metal structure manufacturing activities performed in workshop of a small business. Proceeded to survey the features that enterprise and collecting information in the technical literature. These ratings include the qualitative type for total chemical agents and quantitative for inhalable particulates, and iron and manganese oxides, the latter being made with the help of measuring instruments and an occupational hygiene laboratory contracted to perform analysis of samples. The result of the analysis shows that the occupational exposure limits for the substances evaluated were not exceeded, but for the welding activities arc with coated electrodes, the Action Level for metal fume has been exceeded. Based on the presented study, it was found that workers are exposed mainly to dust and welding fumes generated by operations, or by proximity to these processes in the workplace, and the group of welders is the highest risk in the company.

Keywords: environmental assessment. Chemicals. Fabrication shop. Metallic structures. Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração do processo de oxicorte	27
Figura 2 – Ilustração do processo de soldagem com eletrodo revestido	29
Figura 3 – Ilustração do processo de soldagem MIG ou MAG	29
Figura 4 – Esmerilhamento das bordas da peça.....	31
Figura 5 – Esquema do sistema respiratório	41
Figura 6 - Tamanho das partículas de diversos aerossóis	43
Figura 7 – Esquema de compostos poluentes da exaustão de motores Diesel nas fases gasosa e sólida	52
Figura 8 – Furação utilizando broca helicoidal de aço rápido	59
Figura 9 – Corte utilizando disco abrasivo de corte de óxido de alumínio	60
Figura 10 – Esmerilhamento utilizando disco abrasivo de desbaste de óxido de alumínio ...	61
Figura 11 – Corte por reação química (oxicorte).....	62
Figura 12 – Reações de combustão do processo oxiacetilênico.....	64
Figura 13 – Soldagem pelo processo SMAW	67
Figura 14 – Soldagem pelo processo GMAW.....	72
Figura 15 – Exemplos de bombas de amostragem de ar Gilian.....	110
Figura 16 – Dispositivo de coleta para particulado respirável.....	111
Figura 17 – Dispositivo de coleta para particulado total (cassete)	112
Figura 18 – Oficina de fabricação da empresa.....	116
Figura 19 – Fluxograma de linha de produção do aço na empresa.....	119
Figura 20 – Coleta de material particulado inalável em operação de esmerilhamento	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos estabelecimentos segundo o porte.....	17
Quadro 2 – Componentes dos fluidos de corte	57
Quadro 3 – Aditivos usados em fluidos de corte	58
Quadro 4 – Compostos de ferro em seus vários estados de oxidação	77
Quadro 5 - Grau de exposição ao ozônio e efeitos sobre o organismo	84
Quadro 6 - Efeitos da asfixia simples por deficiência de oxigênio no ar	88
Quadro 7 – Tamanho do grupo amostral com grau de confiança de 90% e 95%	103
Quadro 8 – Características da principal matéria-prima utilizada	117
Quadro 9 – Operações executadas pela empresa e terceirizados	121
Quadro 10 – Frequência de atividades da empresa.....	122
Quadro 11 – Quadro de funcionários da empresa e respectivas atividades	124
Quadro 12 – Dados relacionados ao tempo da coleta de amostras	127
Quadro 13 – Agentes químicos gerados para cada atividade de fabricação	132
Quadro 14 – Relação compacta de agentes químicos gerados	133
Quadro 15 – Estimativa de exposição a agentes químicos gerados na oficina de fabricação	135
Quadro 16 – Divisão dos funcionários em GHR.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de composição química de aços ASTM.....	23
Tabela 2 – Contratação de serviços terceirizados por atividade nas empresas de construção metálica.....	34
Tabela 3 – Exemplo SMAW: ingredientes dos revestimentos dos eletrodos	69
Tabela 4 – Exemplo SMAW: elementos químicos presentes nos compostos gerados nos fumos.....	70
Tabela 5 – Exemplo SMAW: gases gerados	70
Tabela 6 – Exemplo SMAW: componentes da escória gerada.....	71
Tabela 7 – Exemplo GMAW: composição aproximada do eletrodo sólido	73
Tabela 8 – Valores obtidos na avaliação quantitativa e respectivos limites de exposição....	139
Tabela 9 – Valores obtidos na avaliação quantitativa e respectivos limites de exposição corrigidos	139

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Índice de Exposição.....	94
Equação 2: Fator de correção do “modelo Brief e Scala”	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCEM	Associação Brasileira de Construção Metálica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienist
AEPS	Anuário Estatístico da Previdência Social
AFT	Auditor-Fiscal do Trabalho
AIHA	American Industrial Hygiene Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
CAT	Comunicação de Acidentes do Trabalho
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CEN	European Committee for Standardization
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
DATAPREV	Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social
DIEESE	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos
EPI	Equipamento de proteção individual
EUA	Estados Unidos da América
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
GHR	Grupo Homogêneo de Risco
GHS	The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IARC	International Agency for Research on Cancer
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
IE	Índice de Exposição
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPVS	Imediatamente Perigoso à Vida ou à Saúde

IT	Instrução Normativa
JIS	Japanese Industrial Standards
LEO	Limite de Exposição Ocupacional
LT	Limite de Tolerância
MAG	Metal Active Gas
MGE	Média e Grande Empresa
MIG	Metal Inert Gas
MPE	Micro e Pequena Empresa
MPS	Ministério da Previdência Social
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NA	Nível de Ação
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NR	Norma Regulamentadora
NTEP	Nexo Técnico Epidemiológico Previdenciário
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
SAE	Society of Automotive Engineers
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SESMT	Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SP	São Paulo
TLV	Threshold Limit Value
TLV-C	Threshold Limit Value - Ceiling
TLV-STEL	Threshold Limit Value - Short Term Exposure Limit
TLV-TWA	Threshold Limit Value - Time Weighted Average
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO	19
1.2 JUSTIFICATIVA	19
2 REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 ESTRUTURAS METÁLICAS	20
2.1.1 Aço estrutural	21
2.1.2 Breve histórico	23
2.1.3 Fabricação	24
2.1.3.1 Preparação prévia	26
2.1.3.2 Pré-montagem	28
2.1.3.3 Acabamento	30
2.1.3.4 Tratamento de superfície	32
2.1.3.5 Pré-tratamento de superfície	33
2.1.3.6 Serviços e mão-de-obra terceirizados	34
2.2 RISCOS AMBIENTAIS RESPIRATÓRIOS	35
2.2.1 Deficiência de oxigênio	36
2.2.2 Agentes químicos	37
2.2.2.1 Contaminantes particulados	38
2.2.2.2 Contaminantes gasosos	46
2.2.2.3 Fumaça	49
2.2.2.4 Processos de fabricação	52
2.2.2.5 Usinagem	55
2.2.2.6 Oxicorte	61
2.2.2.7 Soldagem	65
2.3 EFEITOS SOBRE O ORGANISMO	73
2.3.1 Partículas Metálicas e não metálicas	75
2.3.1.1 Óxidos de ferro	76
2.3.1.2 Óxidos de manganês	78
2.3.1.3 Óxidos de cobre	79
2.3.1.4 Óxidos de alumínio	80
2.3.1.5 Sílica cristalina	80
2.3.1.6 Negro de fumo	81
2.3.2 Gases, vapores e névoas irritantes	81

2.3.2.1 Dióxido de enxofre	82
2.3.2.2 Óxidos de nitrogênio	83
2.3.2.3 Ozônio	84
2.3.2.4 Flúor	84
2.3.2.5 Acetona	85
2.3.2.6 Fluidos de corte	86
2.3.3 Gases asfixiantes	87
2.3.3.1 Monóxido de carbono	87
2.3.3.2 Dióxido de carbono	88
2.3.3.3 Acetileno	89
2.3.3.4 Argônio	89
2.4 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	90
2.4.1 Limites de Exposição Ocupacional	91
2.4.1.1 Índice de Exposição	94
2.4.1.2 Nível de Ação	95
2.4.1.3 Condições ambientais não usuais	97
2.4.1.4 Jornadas de trabalho não usuais	97
2.4.2 Reconhecimento do risco	98
2.4.2.1 Identificação do agente	99
2.4.2.2 Identificação dos locais de trabalho e atividades	100
2.4.3 Estratégia de amostragem	101
2.4.3.1 Grupo Homogêneo de Risco	102
2.4.3.2 Número de indivíduos a serem amostrados	103
2.4.4 Coleta de amostras	104
2.4.4.1 Contato prévio com o laboratório	104
2.4.4.2 Amostras pessoais e em pontos fixos	105
2.4.4.3 Dias e horários das coletas	106
2.4.4.4 Número de amostras e tempo de coleta	106
2.4.5 Instrumentos de medição e monitoramento	107
2.4.5.1 Coleta com análise instantânea	108
2.4.5.2 Coleta com análise não-instantânea	108
2.4.5.3 Filtração de material particulado	109
2.5 MEDIDAS DE CONTROLE	112
2.5.1 Programa de Proteção Respiratória	113
3 MATERIAIS E MÉTODOS	115

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	115
3.1.1 Locais de trabalho	116
3.1.2 Matérias-primas	117
3.1.3 Processo produtivo	118
3.1.4 Frequência de atividades	122
3.1.5 Funcionários e funções	123
3.1.6 Jornada e turnos de trabalho	124
3.2 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA	125
3.3 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA	126
3.3.1 Material utilizado	128
3.3.2 Comparação e correção de valores	129
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	131
4.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA	131
4.1.1 Contaminantes gerados	131
4.1.2 Estimativa de exposição	134
4.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA	136
4.2.1 Amostragem	137
4.2.2 Análise de amostras	138
4.2.3 Comparação com os limites de exposição	138
5 CONCLUSÕES	141
REFERÊNCIAS	142
ANEXO A - Resultado de análise das amostras coletadas	151

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Anuário Estatístico da Previdência Social - Aeps (DATAPREV, 2015), durante o ano de 2013 foram registrados no Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) cerca de 717,9 mil acidentes do trabalho no Brasil (incluindo os acidentes não notificados formalmente por meio da Comunicação de Acidentes do Trabalho - CAT¹), o que representa um aumento de pouco mais de 0,5% em relação ao ano anterior. Destes, aproximadamente 61,8 mil foram atribuídos ao setor de atividade econômica relativo a construção.

Define-se como acidente do trabalho aquele que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados especiais, provocando lesão corporal ou perturbação funcional, permanente ou temporária, que cause a morte, a perda ou a redução da capacidade para o trabalho (BRASIL, 1991).

Consideram-se acidente do trabalho a doença profissional e a doença do trabalho. Equiparam-se também ao acidente do trabalho, entre outros: o acidente ligado ao trabalho que, embora não tenha sido a causa única, haja contribuído diretamente para a ocorrência da lesão; certos acidentes sofridos pelo segurado no local e no horário de trabalho²; a doença proveniente de contaminação acidental do empregado no exercício de sua atividade; e o acidente sofrido a serviço da empresa ou no trajeto entre a residência e o local de trabalho do segurado e vice-versa (BRASIL, 1991).

A doença profissional pode ser entendida como a produzida ou desencadeada pelo exercício do trabalho peculiar a determinada atividade e a doença do trabalho, entendida como a adquirida ou desencadeada em função de condições especiais em que o trabalho é realizado e com ele se relacione diretamente, desde que constem

¹ Corresponde ao número de acidentes cuja CAT não foi cadastrada no INSS. O acidente é identificado por meio de um dos possíveis nexos: Nexo Técnico Profissional/Trabalho, Nexo Técnico Epidemiológico Previdenciário – NTEP ou Nexo Técnico por Doença Equiparada a Acidente do Trabalho. Esta identificação é feita pela nova forma de concessão de benefícios acidentários (DATAPREV, 2015).

² Por exemplo: ato de agressão, sabotagem ou terrorismo praticado por terceiro ou companheiro de trabalho; e desabamento, inundação, incêndio e outros casos fortuitos ou decorrentes de força maior (BRASIL, 1991).

da respectiva relação elaborada pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e Ministério da Previdência Social (MPS)³ (BRASIL, 1991).

Atualmente, é interessante notar que na maioria das empresas existe um descompasso entre o discurso oficial relacionado aos valores defendidos dentro das organizações e suas ações efetivamente praticadas ao longo do tempo. Dentre os valores defendidos mais comuns, podemos encontrar por exemplo, aqueles referentes a diferentes tipos de responsabilidade: segurança e saúde do trabalhador, ambiental e social. Hoje em dia, é bastante frequente a empresa considerar em seu discurso o colaborador como sendo o maior bem que possui; bem como, no caso da responsabilidade ambiental, esta considerar-se consciente dos problemas ambientais atuais. Assim, em teoria, seria esperado que as ações praticadas por essas empresas estivessem alinhadas aos valores e crenças defendidas por elas. No entanto, apesar dos avanços conseguidos de uma maneira geral, não é isso que vem ocorrendo; e aí está o descompasso.

Grande parte do problema ocorre no modo como é feita a contabilidade nessas empresas. A fórmula é simples: os recursos serão empregados naquilo que têm o maior potencial de gerar lucros e/ou evitar prejuízos. Sendo assim, em virtude de mecanismo falho de percepção de valores, as ações estarão voltadas principalmente em garantir a qualidade do produto ou serviço, bem como assegurar uma boa imagem perante o mercado; e em menor proporção garantir a melhora contínua de eficiência e eficácia dos processos produtivos. Basicamente, esse tipo de contabilidade tradicional se preocupa com o mais óbvio e palpável, como por exemplo: custos de matéria-prima, mão-de-obra, equipamentos, capacitação e concorrência. Para o aspecto da segurança e saúde do trabalhador, muitas vezes os custos e ganhos envolvidos não são tão óbvios assim, e exigem uma maturidade maior da empresa em relação as questões relacionadas a planejamento e controle a fim de quantificá-los de maneira adequada.

Na ausência de maiores estímulos de mercado que motive as empresas a tomarem ações por conta própria no campo da saúde do trabalhador, o Estado entra em cena tornando essa preocupação obrigatória na forma de regulamentação. O problema é que as ações praticadas por empresas nesse sentido vêm se mostrando

³ Exclui-se dessa relação a doença degenerativa, a inerente a grupo etário, a que não produza incapacidade laborativa e a doença endêmica adquirida por segurado habitante de região em que ela se desenvolva (BRASIL, 1991).

estarem relacionadas de maneira diretamente proporcional ao poder de fiscalização do Estado; o qual atualmente é exercido por meio do MTE através de inspeções.

Conforme o Decreto 4.552/02 (BRASIL, 2002) que aprova o regulamento da Inspeção do Trabalho, cabe ao Sistema Federal de Inspeção, principalmente na figura dos Auditores-Fiscais do Trabalho (AFT) organizar, manter e executar a inspeção do trabalho no Brasil. No entanto, de acordo com a análise publicada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) por meio da Nota Técnica nº 4 (IPEA, 2012), ao longo dos últimos vinte anos, o número de AFTs manteve-se praticamente constante (oscilando em torno de três mil⁴), enquanto o número de postos de trabalho aumentou. Esse desequilíbrio torna-se evidente quando se leva em conta o modo tradicional de realização das atividades de inspeção do trabalho, como por exemplo: a atuação individual e isolada dos auditores, aleatória ou reativa a denúncias e dentro de um território restrito. A referida Nota Técnica conclui que havendo prioridade para redução de acidentes de trabalho, o aumento total no número de AFTs no território brasileiro teria que ser de 5.273 novos funcionários num período de quatro anos.

Nesse cenário, torna-se crítica a situação das micro e pequenas empresas (MPE). Segundo o Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa (SEBRAE; DIEESE, 2013), o critério adotado para classificação dos estabelecimentos de acordo com o porte é definido em função do número de pessoas ocupadas e do setor de atividade econômica investigado⁵. No Quadro 1 a seguir pode ser observado essa classificação⁶.

⁴ Atualmente o MTE dispõe de 2.711 Auditores-Fiscais do Trabalho (BRASIL, 2015).

⁵ A classificação dos estabelecimentos de acordo com o porte não ocorre de maneira única. Outros critérios, tais como o tipo de empresa e receita bruta anual podem ser utilizados dependendo da finalidade a que se destina (recolhimento de impostos, cumprimento de obrigações trabalhistas, acesso a crédito, etc.).

⁶ No quadro 1, para o setor relativo a Indústria (as mesmas delimitações de porte foram utilizadas para o setor da construção), foram excluídas divisões relacionadas à agropecuária, devido ao fato de este setor encontrar-se sub-representado na Relação Anual de Informações Sociais – Rais. Já para o setor Serviços, este não inclui administração pública e serviço doméstico (SEBRAE; DIEESE, 2013).

Porte	Setores	
	Indústria	Comércio e Serviços
Microempresa	Até 19 pessoas ocupadas	Até 9 pessoas ocupadas
Pequena empresa	De 20 a 99 pessoas ocupadas	De 10 a 49 pessoas ocupadas
Média empresa	De 100 a 499 pessoas ocupadas	De 50 a 99 pessoas ocupadas
Grande empresa	500 pessoas ocupadas ou mais	100 pessoas ocupadas ou mais

Quadro 1 – Classificação dos estabelecimentos segundo o porte
Fonte: SEBRAE; DIEESE, 2013

Entre os anos de 2002 e 2012, verificou-se um aumento de 30,9% no número de MPEs; sendo que no ano de 2012, elas responderam por 51,7% (ou 16,1 milhões em número absoluto) dos empregos formais, ou seja, número maior que das médias e grandes empresas (MGE), e foram responsáveis por 99% do total de estabelecimentos pertencentes aos setores da indústria, construção, comércio e serviços (SEBRAE; DIEESE, 2013). As microempresas em questão, geralmente são pequenos empreendimentos individuais que possuem reduzido número de funcionários e relativamente pouco conhecimento técnico multidisciplinar (na maioria dos casos não são obrigadas a constituir Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho – SESMT, e/ou Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - Cipa). Muitas vezes se esforçam para continuar no mercado mesmo com receita bruta reduzida e adotam a seguinte máxima: economia a qualquer custo.

Na ausência de fiscalização, a legislação vigente em segurança e saúde no trabalho muitas vezes é ignorada, principalmente no que se refere as medidas de controle de agentes ambientais em fontes e trajetórias (medidas relativas ao ambiente). Em relação as medidas de controle no receptor (medidas relativas ao trabalhador), ocorre que frequentemente são tratadas sem o devido cuidado.

“Na saúde ocupacional as condições de trabalho são analisadas dentro do prisma de riscos ambientais [...] sendo a prevenção das patologias proposta em termos da redução da exposição a esses agentes” (USP, 2014b, p. 10). Nesse sentido, destaca-se a importância da higiene ocupacional. Em senso amplo, a sua atuação “prevê uma intervenção deliberada no ambiente de trabalho, como forma de prevenção da doença” (USP, 2013a, p. 31). Segundo Goelzer (2014), as doenças

ocupacionais constituem uma das grandes “epidemias silenciosas”, que incapacitam e matam trabalhadores, a cada dia, em todo o mundo, muitas vezes de maneira insidiosa e sem que o nexos causal seja estabelecido, por razões que incluem falta de atendimento médico, diagnósticos equivocados e, em alguns casos, períodos de latência⁷ muito longos. Muito menos visíveis que os acidentes do trabalho, são significativamente subestimadas.

Os agentes ambientais que a higiene ocupacional tradicionalmente considera são os chamados agentes físicos, químicos e biológicos. Em relação aos agentes químicos, podemos entendê-los como todas as substâncias puras, compostos ou produtos (misturas) que podem entrar em contato com o organismo por uma multiplicidade de vias. As “vias de ingresso” consideradas tradicionalmente são a via respiratória (inalação), cutânea (através da pele intacta) e digestiva (ingestão); sendo que a inalação é a via de maior importância industrial, pois é uma das formas mais comuns pelas quais substâncias perigosas entram no corpo humano (USP, 2013a).

Devido ao fato de os pulmões terem um contato tão íntimo com tantos poluentes nos locais de trabalho, eles são os alvos principais dos carcinogênicos ocupacionais. Cabe ressaltar também que os problemas de poluição atmosférica colocaram em evidência a necessidade de se ter mais informações básicas sobre os pulmões (USP, 2013a).

Nesse contexto, tendo como base a área de proteção respiratória, a presente monografia trata-se de um estudo de caso desenvolvido junto a uma empresa de construção civil especializada em fabricação de estruturas metálicas. Para este estudo, buscou-se avaliar qualitativamente e quantitativamente alguns contaminantes presentes no ar gerados pelas atividades desenvolvidas na oficina da empresa.

⁷ O período de latência é o intervalo de tempo decorrido entre a primeira exposição a um material potencialmente nocivo e a manifestação da doença. Para diversas situações de risco ocupacional o período de latência pode ser muito grande, variando de 10 a mais de 20 anos. Em alguns casos, pode atingir até mesmo 30 ou 40 anos (USP, 2013a).

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem o objetivo de, como uma primeira aproximação, avaliar a exposição ocupacional a agentes químicos em atividades de fabricação de estruturas metálicas realizadas numa oficina de pequeno porte.

1.2 JUSTIFICATIVA

Foi escolhido a área de proteção respiratória devido ao fato de não haver qualquer estudo semelhante realizado pela empresa em questão ao longo de sua existência.

Com a presente avaliação pretende-se iniciar o processo de mudança de postura em relação a segurança e saúde no trabalho, o qual atualmente encontra-se em estágio predominantemente reativo, para uma postura que dê maior atenção a prevenção. A longo prazo espera-se contribuir para a transformação da cultura organizacional⁸ nesse sentido.

⁸ “A cultura organizacional é a somatória dos sentimentos e percepções em relação aos valores e atitudes, em todos os níveis da organização. E esta somatória não é do tipo simples (A+B+C....); é uma somatória complexa, pois perpassa a percepção e os valores individuais de todos os participantes da organização. É também uma somatória sistêmica, pois está em constante mutação a partir das múltiplas interações, percepções e decodificações de cada indivíduo” (LAPA; GOES, 2011, p. 68). “Apesar de sua criação estar descrita de forma simbólica, sua vivência é concreta, e se traduz em gestos, atitudes, práticas cotidianas, valores, tabus, tradições, convenções, regras de etiqueta, mitos, superstições, códigos escritos e não escritos, que somente uma observação acurada pode revelar” (LAPA; GOES, 2011, p. 69).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ESTRUTURAS METÁLICAS

Segundo Dias (2009), estrutura pode ser definida como a parte ou conjunto das partes de uma construção que se destina a resistir cargas. Cada parte portante, também denominada elemento estrutural, deve resistir aos esforços incidentes e transmiti-los a outros elementos através dos vínculos que os unem, com a finalidade de conduzi-los ao solo⁹.

Os metais puros (elementos metálicos), com raras exceções, como, por exemplo, níquel e ferro dos meteoritos, não ocorrem na natureza em sua forma pura, mas geralmente na forma de óxidos (Hematita, Fe_2O_3 ; Cassiterita, SnO_2 ; Bauxita, Al_2O_3), sulfetos, entre outros. Processos de redução são empregados para a separação dos elementos metálicos puros (Al, Cu, Ni, Sn) ou combinados com um segundo elemento (por exemplo, Fe-C) (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

As combinações de elementos metálicos com outros elementos (metálicos e também com pequenas quantidades de não metais) são chamadas de “ligas”. As ligas, possibilitam a ampliação de propriedades possíveis de serem alcançadas pelos metais puros para atender às especificações dos produtos metálicos (tais como, resistência à corrosão, aumento de dureza, etc.). A produção de ligas metálicas ocorre por meio de duas grandes famílias: ligas ferrosas e ligas não ferrosas (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

As formas mais usuais de metais ferrosos são o aço, o ferro fundido¹⁰ e o ferro forjado¹¹; sendo o aço, atualmente, o mais importante dos três. O aço e o ferro fundido são ligas de ferro (Fe) e carbono (C), com outros elementos de dois tipos: elementos

⁹ Essa definição faz referência a estrutura das edificações. No entanto, o conceito de estrutura é mais amplo e encontra-se em todas as áreas do conhecimento. Estrutura pode ser entendido como um conjunto, ou um sistema, composto de elementos que se inter-relacionam para desempenhar uma função, permanente ou não (REBELLO, 2003).

¹⁰ O ferro fundido constitui a liga ferro-carbono, cujo teor de carbono encontra-se entre 2,11% e 6,7%. O Si está frequentemente presente em teores superiores ao do próprio carbono, sendo, portanto, normalmente considerado uma liga ternária Fe-C-Si (FREITAS, 2014).

¹¹ “O ferro forjado [...], cuja produção comercial inexistia atualmente, é praticamente um aço de baixo carbono” (WALTER; MICHÈLE, 2014, p. 1).

residuais decorrentes do processo de fabricação, como silício, manganês, fósforo e enxofre¹², e elementos adicionados com o intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material denominados elementos de liga (WALTER; MICHÈLE, 2014).

“O aço é a liga ferro-carbono em que o teor de carbono varia desde 0,008% até 2,11%” (CHIAVERINI, 1996 apud WALTER; MICHÈLE, 2014, p. 1). Atualmente, para sistemas estruturais metálicos, utiliza-se o aço.

2.1.1 Aço estrutural

Existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos (CBCA, [2014?]). Na construção civil, o interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais, termo que designa todos os aços que, em função de sua resistência, ductibilidade¹³ e outras propriedades, são adequados para utilização em elementos que suportam cargas (DIAS, 2009).

Em função da presença, na composição química, de elementos de liga e do teor de elementos residuais, os aços são classificados em aços-carbono, que contêm teores normais de elementos residuais, e em aços-liga, que são aços acrescidos de elementos de liga ou apresentando altos teores de elementos residuais (WALTER; MICHÈLE, 2014).

Nos aços-carbono, o aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono¹⁴ e, em menor escala, pelo manganês¹⁵. Em relação a sua composição, estes apresentam como limites as seguintes porcentagens máximas: 2,0% de carbono, 1,65% de manganês, 0,60% de silício e 0,35% de cobre. Já em função do teor de carbono, distinguem-se três categorias: baixo carbono ($C < 0,29\%$),

¹² Os elementos residuais, que fazem parte da matéria-prima utilizada, permanecem na liga e sua retirada é economicamente inviável. São as denominadas impurezas, cujas quantidades não chegam a afetar o desempenho do material (REBELLO, 2008).

¹³ Ductibilidade é a capacidade dos materiais de se deformar plasticamente sem se romper. As vigas de aço dúcteis sofrem grandes deformações antes de se romper, o que na prática constitui um aviso da presença de tensões elevadas (DIAS, 2009).

¹⁴ O aumento do teor de carbono eleva a resistência do aço, porém diminui a sua ductibilidade, o que conduz a problemas na soldagem. Em estruturas usuais de aço, utilizam-se aços com baixo teor de carbono, que podem ser soldados sem preocupações especiais (WALTER; MICHÈLE, 2014).

¹⁵ O manganês é utilizado praticamente em todos os aços comerciais, sendo que o aumento do seu teor também é uma maneira segura de melhorar a resistência mecânica. Prejudica a soldabilidade, sendo, no entanto, menos prejudicial que o carbono (DIAS, 2009).

médio carbono ($0,30\% < C < 0,59\%$) e alto carbono ($0,6\% < C < 2,0\%$) (WALTER; MICHÈLE, 2014).

Para os aços utilizados em estruturas, pode-se classificá-los em dois grupos: aços-carbono e aços de baixa liga (baixo teor de liga ou microligados); sendo ambos com baixo e médio teores de carbono (WALTER; MICHÈLE, 2014).

Os aços de baixa liga são aços acrescidos de elementos de liga (cromo, cúbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), os quais melhoram algumas propriedades mecânicas (WALTER; MICHÈLE, 2014). Para obtenção de aços mais resistentes à corrosão são adicionadas quantidades determinadas de cobre; para obter-se aços inoxidáveis adiciona-se cromo; para aços resistentes a ácidos adiciona-se níquel, e assim por diante (REBELLO, 2008).

As propriedades específicas dos diversos tipos de aço variam conforme parâmetros estabelecidos por diferentes entidades de normalização, como por exemplo: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), American Society for Testing and Materials (ASTM), Japanese Industrial Standards (JIS), Society of Automotive Engineers (SAE) e European Committee for Standardization (CEN) (CBCA, [2014?]; WALTER; MICHÈLE, 2014).

Atualmente, dentre os aços estruturais existentes, o mais utilizado e conhecido é o ASTM A36 [aço-carbono comum], que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica. Entretanto, a tendência moderna no sentido de se utilizar estruturas cada vez maiores tem levado os engenheiros, projetistas e construtores a utilizar aços de maior resistência, os chamados aços de alta resistência e baixa liga, de modo a evitar estruturas cada vez mais pesadas (CBCA, [2014?]).

A Tabela 1 a seguir, relaciona a composição química de um aço carbono de média resistência mecânica (ASTM A36), um aço de alta resistência mecânica e baixa liga (ASTM A572 Grau 50) e dois aços de alta resistência mecânica e baixa liga resistentes à corrosão atmosférica (ASTM A588 Grau B e ASTM A242)¹⁶ (CBCA, [2014?]).

¹⁶ Na tabela 1, para perfis ASTM A36 de massa linear superior a 634 kg/m, o teor de manganês deve estar situado entre 0,85 e 1,35% e o teor de silício entre 0,15 e 0,40%. Nesses perfis, o mínimo de 0,20% de Cu ocorre somente quando este elemento for especificado. Para o aço ASTM A572, o teor de Si máximo corresponde apenas aos perfis de até 634 kg/m (CBCA, [2014?]).

Tabela 1 – Comparativo de composição química de aços ASTM

Elemento químico	ASTM A36 (perfis)	ASTM A572 (grau 50)	ASTM A588 (grau B)	ASTM A242 (chapas)
% C máx.	0,26	0,23	0,2	0,15
% Mn	...	1,35 máx.	0,75-1,35	1,00 máx.
% P máx.	0,04	0,04	0,04	0,15
% S máx.	0,05	0,05	0,05	0,05
% Si	0,40 máx.	0,40 máx.	0,15-0,50	...
% Ni	...	...	0,50 máx.	...
% Cr	...	...	0,40-0,70	...
% Mo	...	...	...	...
% Cu	0,20 mín.	...	0,20-0,40	0,20 mín.
% V	...	...	0,01-0,10	...
(% Nb + %V)	...	0,02-0,15	...	...

Fonte: adaptado de CBCA, [2014?]

2.1.2 Breve histórico

Os primeiros contatos do ser humano com o metal ferro foram a partir do ferro meteorítico; em torno de um terço dos meteoritos que atingem a superfície da Terra é de ferro, com teores variáveis de níquel. Desde tempos remotos o ser humano os utilizava na fabricação de ferramentas, adornos e armas (MOURÃO; GENTILE, 2011).

O cobre, por se apresentar em estado nativo e ser muito dúctil, foi o primeiro metal a ser utilizado na fabricação de ferramentas e armas, em substituição à madeira e à pedra. (REBELLO, 2008). A metalurgia, entendida como o conjunto de tratamentos físicos e químicos a que são submetidos os minerais para extração dos metais, surgiu há mais de 6 mil anos no Oriente Próximo, e teve o bronze como o material metálico dominante no início (MOURÃO; GENTILE, 2011).

A História oficial fixa, aproximadamente, em 1000 a. C. o início da Idade do Ferro, posterior à Idade do Bronze. Esse início não ocorreu de forma uniforme nas diferentes regiões; com origem no Oriente e depois disseminando-se pela Europa, provavelmente a metalurgia do ferro (siderurgia) também surgiu de forma independente na China, na Índia e na África (que não teve uma Idade do Bronze), ao

passo que na Oceania e nas Américas só chegou com o conquistador europeu (MOURÃO; GENTILE, 2011).

No século XIX, as sociedades vigentes alcançam um estágio de desenvolvimento tecnológico, econômico e social, advindo da Revolução Industrial, que acaba por determinar certas necessidades, irrelevantes até então. As cidades crescem, os ajuntamentos humanos se tornam maiores e as edificações passam a ser solicitadas para outras necessidades além daquela de só abrigar um espaço. Os novos tempos exigem grandes espaços cobertos para mercados e estações de trens com locomotiva a vapor, onde há a necessidade de grande volume de ar. O progresso nas possibilidades de deslocamento cria a necessidade da construção de hangares para dirigíveis ou aviões; a supressão dos obstáculos visuais (pilares e paredes) – para espaços de exposições, salas de espetáculos, estádios e igrejas – exige grandes vãos (REBELLO, 2008).

A boa resistência aos carregamentos e a incombustibilidade foram os principais critérios adotados para o emprego dos materiais ferrosos na execução de estruturas, em substituição à madeira; sendo que o primeiro material siderúrgico utilizado foi o ferro fundido, ainda em meados do século XVIII (REBELLO, 2008).

Somente após o ano de 1856, com a invenção pelo inglês Henry Bessemer de um forno apropriado, o aço começa a ser produzido em escala industrial. Sua primeira utilização estrutural acontece em 1867, na Ponte Eades, sobre o rio Mississipi, em St. Louis (Estados Unidos da América - EUA); a partir de então, o aço passa a substituir o ferro fundido nas estruturas (REBELLO, 2008).

Nos seus 3000 anos “oficiais” de existência, o processo siderúrgico de transformação do minério de ferro em produtos de aço evoluiu junto com a sociedade, mas sua essência ainda é a mesma (MOURÃO; GENTILE, 2011).

2.1.3 Fabricação

A estrutura em aço é um produto industrializado. Grande parte do seu processo ocorre na fábrica, com alta qualidade de execução, padronização das peças, previsão

do sistema de montagem, racionalização de operações e equipamentos, resultando em organização na obra e redução de canteiros (MARINGONI, 2004).

Uma fábrica de estruturas metálicas é relativamente simples e de grande flexibilidade, podendo executar uma série de operações simultaneamente. Basicamente trabalha com um único material, o aço estrutural, que entra no início do fluxo como perfis laminados ou chapas planas e sai na forma de estruturas pré-montadas (DIAS, 2009).

De uma maneira geral, as operações típicas a serem executadas estão associadas a determinadas etapas, como: suprimento de matéria-prima; traçagem; preparação prévia; pré-montagem; acabamento; pré-tratamento de superfície; tratamento de superfície e expedição (DIAS, 2009).

A primeira etapa (suprimento de matéria-prima), refere-se à aquisição de todos os materiais necessários à fabricação das estruturas, tais como: o aço; parafusos, porcas e arruelas; eletrodos revestidos; etc. (DIAS, 2009). As usinas produzem aços para utilização estrutural sob diversas formas: barras, chapas, perfis laminados, fios trefilados, cordoalhas e cabos. Perfis estruturais podem ainda ser fabricados por dobramento de chapas (perfis de chapa dobrada) e por associação de chapas através de soldagem (perfis soldados) (WALTER; MICHÈLE, 2014).

A etapa de traçagem consiste em transferir as informações necessárias para a confecção das peças diretamente sobre a superfície das chapas; as marcações são feitas com riscadores de giz e os centros dos furos são assinalados mediante punção (furação por cisalhamento¹⁷) (DIAS, 2009).

Na expedição, última fase do processo, ocorre o embarque e a expedição da estrutura para o local em que será montada (DIAS, 2009).

¹⁷ A resistência de um elemento depende da relação entre a força aplicada e a quantidade de material sobre o qual a força age. A essa relação dá-se o nome de tensão. Pode-se dizer que, a tensão é a quantidade de força que atua em uma unidade de área do material. Quando a força for aplicada de forma paralela, ou, tangente à superfície resistente, será chamada força cortante; e a tensão denominar-se-á tensão de cisalhamento (REBELLO, 2003).

2.1.3.1 Preparação prévia

Na preparação prévia, são executados cortes, recortes, dobramentos, furações, desempenos e ajustes que forem requeridos, de acordo com o trabalho a ser realizado. Nesta etapa, é feita a preparação de todas as peças componentes da estrutura para posteriormente efetuar-se a pré-montagem dos subconjuntos e conjuntos (DIAS, 2009).

Os tipos mais comuns de corte são executados utilizando tesouras, serras circulares de baixa velocidade e corte a gás, conhecido como oxicorte (DIAS, 2009).

O método de corte por reação química (oxicorte) secciona metais, basicamente aços-carbono, pela oxidação do Fe do aço seguida de fusão dos óxidos produzidos. O processo ocorre sob uma contínua ação de um jato de oxigênio de elevada concentração que age sobre um ponto previamente aquecido por uma chama¹⁸ oxicomustível [utiliza-se a ferramenta maçarico de corte¹⁹]. Na temperatura ambiente e na presença de oxigênio, o ferro se oxida de forma lenta; porém à medida que a temperatura se eleva, a oxidação se acelera, tornando-se praticamente instantânea a 1.350°C (SENAI, 2013). A Figura 1 apresenta esquematicamente esse processo.

¹⁸ “Sempre que acontece uma reação química entre gases com aparecimento de luz e calor, a zona em que se processa esta reação é denominada chama” (SENAI, 2013, p. 233).

¹⁹ Maçarico consiste em um instrumento para misturar e controlar a vazão de gases na saída de um bico (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992). “O maçarico de corte mistura o gás combustível com o oxigênio de aquecimento [...], além de produzir um jato de oxigênio de alta velocidade para o corte”. (SENAI, 2013, p. 472)

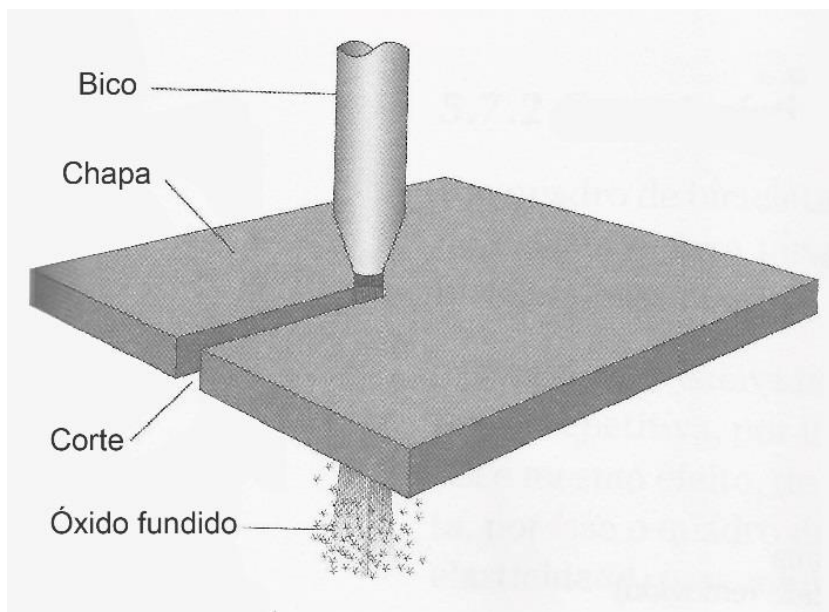


Figura 1 – Ilustração do processo de oxicorte
Fonte: adaptado de KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013

Para obtenção da chama oxicomustível, são necessários pelo menos dois gases [geralmente obtidos por meio de cilindros de gás²⁰], sendo um deles sempre o oxigênio, e o outro, um gás combustível, como por exemplo: acetileno, propileno, propano, GLP (gás liquefeito de petróleo) e gás natural. Uma das razões de o acetileno (C_2H_2) ser largamente utilizado como gás combustível advém do fato de que em combustão, na presença de oxigênio, produz a chama considerada a de mais alta temperatura e de maior concentração (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013; SENAI, 2013).

A furação, trata-se de um processo de usinagem mecânica responsável por abrir, alargar e dar acabamento em furos redondos na peça. A broca (ferramenta cilíndrica e multicortante) é pressionada na peça estacionária por intermédio de máquinas operatrizes chamadas furadeiras, sendo estas de numerosos tipos: de coluna, portáteis, de bancada, etc. (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

²⁰ Os cilindros de gás constituem-se vasos de pressão. Segundo BRASIL (2014, não paginado): “vasos de pressão são equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa, diferente da atmosférica”.

2.1.3.2 Pré-montagem

Na etapa de pré-montagem o trabalho consiste em agrupar as peças de um mesmo subconjunto, dando forma final aos componentes da estrutura. No agrupamento, os subconjuntos são levados para as linhas de soldagem (DIAS, 2009).

“Denomina-se soldagem o processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor [...]. A solda é o resultado desse processo” (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992, p. 1). Os processos de soldagem mais empregados na indústria de construção são os de energia elétrica. Em geral, a fusão do aço é provocada pelo calor produzido por um arco elétrico²¹ entre um eletrodo metálico e o aço a soldar, ocorrendo a deposição do material do eletrodo (WALTER; MICHÈLE, 2014).

Nos processos de soldagem, o material fundido deve ser isolado da atmosfera para evitar formação de impurezas na solda. Esse isolamento pode ser feito de diversas maneiras; dentre elas, pode-se citar os processos com eletrodo manual revestido²² ou por arco elétrico com proteção gasosa (também conhecido como MIG – Metal Inert Gas ou MAG – Metal Active Gas) (WALTER; MICHÈLE, 2014).

A soldagem com eletrodo manual revestido (Figura 2) é a mais utilizada na indústria; o revestimento é consumido juntamente com o eletrodo, transformando-se parte em gases de proteção, parte em escória (o qual deve ser retirada após o

²¹ “Arco elétrico pode ser definido como “a descarga elétrica mantida através de um gás ionizado, iniciada por uma quantidade de elétrons emitidos do eletrodo negativo (catodo) aquecido e mantido pela ionização térmica do gás aquecido” (UDIN; FUNK; WOLFF, 1954 apud WAINER; BRANDI; MELLO, 1992, p. 9). O calor é devido a movimentação (choques) de cargas elétricas no arco, sendo que os íons positivos podem ser considerados imóveis quando comparados com a velocidade dos elétrons (HARRIS, 1967 apud WAINER; BRANDI; MELLO, 1992). A ionização ocorre quando um elétron localizado em uma órbita recebe uma quantidade de energia, sendo forçado para uma órbita de maior energia. Conforme a energia que o elétron recebe, ele pode ou não sair da influência do campo eletromagnético do átomo e tornar-se um elétron livre. No caso dos arcos elétricos de soldagem, ocorre a ionização térmica, que é a ionização por colisão entre partículas bem aquecidas (UDIN; FUNK; WOLFF, 1954 apud WAINER; BRANDI; MELLO, 1992). Uma vez que ocorra o fenômeno de ionização, tem-se o elétron livre e um íon positivo, formando-se consequentemente um meio condutor de eletricidade. Por último, no que se refere a emissão (termoinônica), significa o processo de liberação de elétrons de uma superfície aquecida [no caso a extremidade do eletrodo] por diferença de potencial (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992). Em resumo, o arco elétrico é a passagem de corrente elétrica de um para outro ponto condutor, num meio gasoso e cuja intensidade vai depender, entre outros fatores, da capacidade da fonte, da diferença de potencial e da resistividade do meio onde ele ocorre (USP, 2014a).

²² “O eletrodo revestido é um condutor metálico que permite a passagem de uma corrente elétrica. É composto por um núcleo metálico, chamado alma, envolvido por um revestimento composto de matérias orgânicas e/ou minerais, com dosagens bem definidas” (SENAI 2013, p. 285).

resfriamento). Já o processo de soldagem com proteção gasosa (Figura 3), é utilizado principalmente no modo semi-automático, em que a tocha de soldagem é conduzida pelo soldador, mas as outras operações, como alimentação do arame, são automáticas (WALTER; MICHÈLE, 2014).

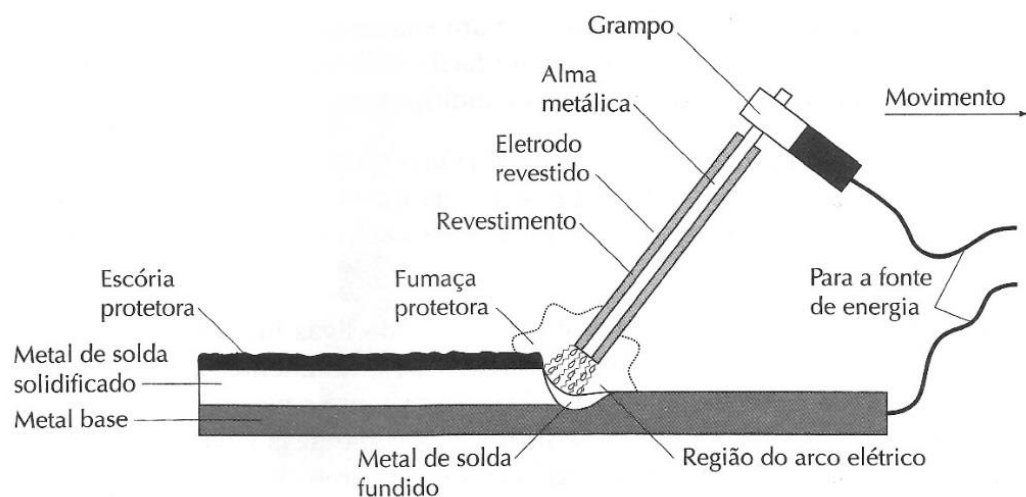


Figura 2 – Ilustração do processo de soldagem com eletrodo revestido
Fonte: KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013

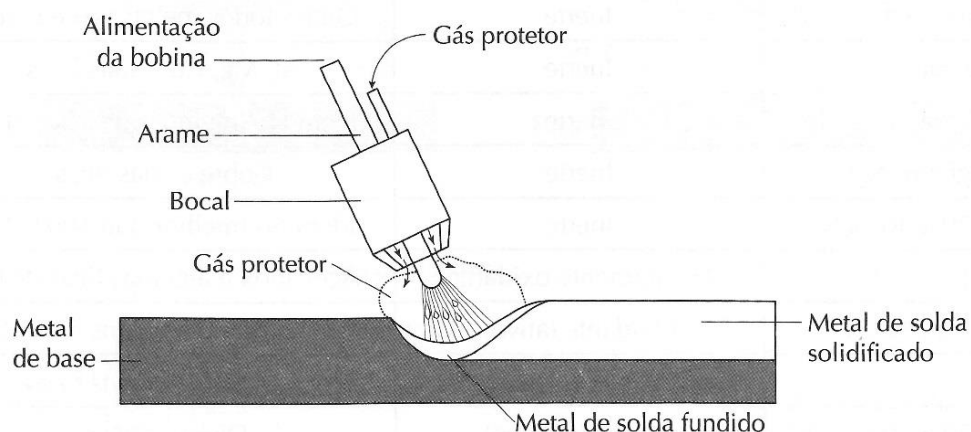


Figura 3 – Ilustração do processo de soldagem MIG ou MAG
Fonte: KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013

Os gases de proteção utilizados no processo MIG são o hélio ou o argônio ou, ainda uma mistura de ambos; já no processo MAG utiliza-se CO₂ ou mistura de gás inerte²³ [argônio ou hélio] com CO₂ ou oxigênio. O emprego de CO₂, um gás oxidante²⁴ mais barato que outros gases de proteção, faz do processo MAG um dos mais utilizados na soldagem de estruturas de aço (SENAI, 2013).

2.1.3.3 Acabamento

Na etapa de acabamento, pode-se citar, por exemplo, a operação de esmerilhamento das bordas das peças (Figura 4), uma vez que são normalmente cortadas por maçarico ou tesouras que podem provocar rebarbas. Esse esmerilhamento também tornará melhor o aspecto das superfícies soldadas (DIAS, 2009).

²³ No contexto de processos de soldagem, gases inertes referem-se aos gases nobres (argônio e hélio), que são estáveis quimicamente e existem como átomos simples e isolados [monoatômicos] (SENAI, 2013). No contexto de proteção respiratória, gases inertes são substâncias que não reagem quimicamente com outras nas condições normais de pressão e temperatura (como por exemplo: nitrogênio, dióxido de carbono, hélio, argônio, neônio, metano, butano e acetileno). Nesse sentido, tais substâncias podem ser utilizadas por exemplo, na inertização de tanques ou equipamentos ao realizar-se manutenções (TORLONI; VIEIRA, 2003).

²⁴ Gases oxidantes (moleculares) reagem com os elementos da poça de fusão, formando óxidos (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

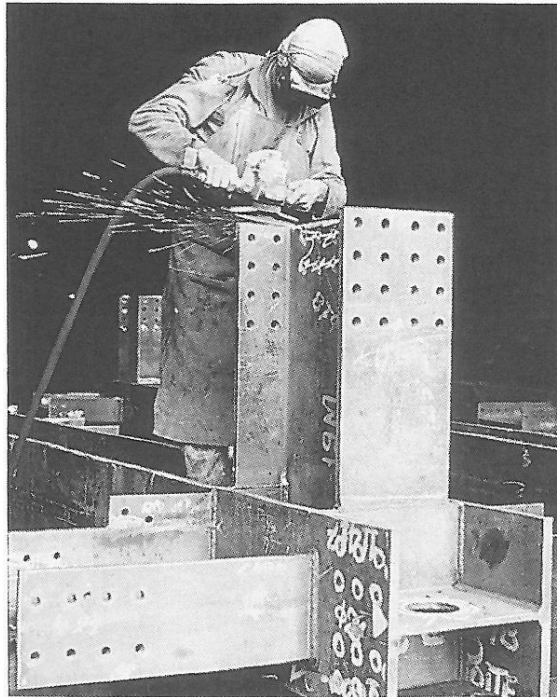


Figura 4 – Esmerilhamento das bordas da peça
Fonte: DIAS, 2009

Como mecanismo de atuação, trata-se de um processo de usinagem por abrasão, onde a remoção do material é feita por cada grão abrasivo componente da ferramenta [no caso de esmerilhamento, utiliza-se disco de desbaste]. As ferramentas podem ser confeccionadas através do uso de aço de baixo custo, com a fixação de grãos [ou pastilhas para o caso de algumas ferramentas de corte] de material de alta dureza²⁵ (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Nas operações de lixamento e esmerilhamento [assim como corte], pode-se observar intenso desprendimento de fagulhas (USP, 2014a).

²⁵ Define-se dureza como a “resistência ao risco ou abrasão. Na prática mede-se dureza pela resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza [...]. As relações físicas entre resistência e dureza foram estabelecidas experimentalmente [...]” (WALTER; MICHÈLE, 2014, p. 17).

2.1.3.4 Tratamento de superfície

Os metais são sensíveis à corrosão, em maior ou menor grau, dependendo da sua composição química e do meio ambiente em que se encontram (DIAS, 2009). Denomina-se corrosão o processo de reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto, sendo o produto desta reação muito similar ao minério de ferro. Ela promove a perda de seção das peças de aço, podendo se constituir em causa principal de colapso (WALTER; MICHÈLE, 2014). A corrosão (oxidação) é um processo espontâneo e contínuo, podendo ser entendido como o inverso ao da metalurgia (redução). Em síntese: na metalurgia, o minério recebe energia para transformar-se em metal; na corrosão, o metal retorna à condição de minério liberando energia (DIAS, 2009).

A proteção contra corrosão dos aços expostos [tratamento de superfície²⁶] é usualmente feita por galvanização ou por pintura²⁷. A galvanização consiste na adição, por imersão, de uma camada de zinco às superfícies do aço [através de um banho metálico de zinco fundido], após a adequada limpeza das mesmas²⁸ (WALTER; MICHÈLE, 2014). Já a pintura, baseia-se na aplicação de revestimento não-metálico e mau condutor de corrente elétrica em toda a superfície do metal a proteger; sendo que, a qualidade dessa proteção depende da sua aderência à superfície metálica, da sua porosidade e da natureza do revestimento (DIAS, 2009).

²⁶ De maneira alternativa ao tratamento de superfície, pode-se adicionar cobre na composição química do aço de forma a aumentar sua resistência à corrosão atmosférica. O aço resistente à corrosão, ao ser exposto ao ar, desenvolve uma película (pátina) produzida pela própria corrosão, que se transforma em uma barreira, reduzindo a evolução do processo (WALTER; MICHÈLE, 2014).

²⁷ Como proteção, também pode ser utilizado o processo de metalização, que consiste em revestir as superfícies de aço com zinco fundido por projeção. Nesse processo empregam-se pistolas apropriadas alimentadas por chama oxiacetilênica (DIAS, 2009).

²⁸ Normalmente a limpeza [pré-tratamento] ocorre submetendo o material a uma sucessão de banhos em tanques ou cubas contendo o ácido mais adequado na seguinte sequência de operações: desengraxamento, decapagem e neutralização. Entre cada operação, procede-se à devida lavagem do mesmo (DIAS, 2009).

2.1.3.5 Pré-tratamento de superfície

Um dos fatores de maior importância para o bom desempenho da pintura é o preparo da superfície da peça [pré-tratamento]. Preparar a superfície significa executar operações que permitam obter limpeza e rugosidade. A limpeza elimina os materiais estranhos, como contaminantes, oxidações e tintas mal aderidas, que poderiam prejudicar a aderência da nova tinta. A rugosidade aumenta a superfície de contato e também ajuda a melhorar esta aderência (CELISO; MARIANO; FERNANDES, 2003). O aço fornecido pelo fabricante é geralmente coberto por camadas de carepa de laminação²⁹, aparecendo também a ferrugem durante o período de estocagem, inclusive logo após a produção, nos pátios das siderúrgicas (DIAS, 2009).

O pré-tratamento pode ser realizado por um dos seguintes processos: desengraxamento por solvente, limpeza manual, limpeza mecânica, limpeza a fogo e jateamento abrasivo (DIAS, 2009).

O desengraxamento por solventes é o procedimento destinado à remoção de óleos, graxa, terra ou outros contaminantes das superfícies de aço mediante o emprego de solventes, detergentes, compostos para limpeza, em soluções ou emulsões, vapor ou outros produtos de ação solvente. Para a limpeza manual, utilizam-se martelos de várias formas, talhadeiras, picadores, raspadores, espátulas, escovas com cerdas de aço ou bronze, palha de aço, lixa ou esmeril. Na limpeza mecânica empregam-se escovas rotativas, rebolos abrasivos, pistolas de agulhas, ferramentas de impacto (como marteletes ou pistolas de agulhas pneumáticas), esmerilhadeiras elétricas, lixadeiras rotativas ou orbitais (elétricas ou pneumáticas), ou ainda combinações das mesmas. A limpeza a fogo consiste na rápida aplicação da chama de um maçarico sobre a superfície da peça. Por último, o jateamento abrasivo emprega o mecanismo de propulsão de partículas (por meio de abrasivos de natureza metálica, como a granalha de aço, por exemplo), impelidos por ar comprimido através

²⁹ A carepa de laminação é um contaminante especial, pois o aço já sai da siderúrgica com uma camada de óxidos de ferro formada na superfície do metal no processo de laminação a quente. Nesse processo, o aço é aquecido para torná-lo mais dúctil e para que seja possível passar as chapas entre os cilindros laminadores. Durante o resfriamento a chapa se recobre de uma camada cinza azulada (CELISO; MARIANO; FERNANDES, 2003).

de bico apropriado, ou por ação centrífuga de rotores providos de pás³⁰; tendo o pó formado removido em seguida. Trata-se do método mais eficiente para remoção de carepas de laminação, ferrugem e pinturas antigas da superfície do aço (DIAS, 2009).

2.1.3.6 Serviços e mão-de-obra terceirizados

Atualmente, muitas empresas que fabricam estruturas em aço contratam serviços terceirizados ou mão-de-obra terceirizada. De acordo com um levantamento feito no ano de 2013 pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) e pela Associação Brasileira de Construção Metálica (ABCEM), de um total de 166 empresas consultadas, 69% contratam serviços terceirizados e 7,6% contratam mão-de-obra terceirizada³¹. Das empresas que contratam serviços, as atividades de montagem, galvanização e pintura são as mais requisitadas (CBCA; ABCEM, 2014). A Tabela 2 apresenta essa relação.

Tabela 2 – Contratação de serviços terceirizados por atividade nas empresas de construção metálica

Atividade	Porcentagem (%)
Montagem	30,1
Galvanização	29,7
Pintura	29,4
Proteção contra incêndio	8,2
Engenharia de cálculo/ transporte	1,1
Corte e dobra (perfil)	0,7
Jateamento	0,4
Soldagem	0,4
Total	100

Fonte: adaptado de CBCA; ABCEM, 2014

³⁰ O jateamento por meio de rotores de pás é utilizado nos trabalhos em oficinas, para limpeza de peças em sistemas fechados (DIAS, 2009).

³¹ A contratação de mão-de-obra terceirizada ocorre principalmente para atividades de montagem (CBCA; ABCEM, 2014).

2.2 RISCOS AMBIENTAIS RESPIRATÓRIOS

Em 1977, por intermédio da Lei nº 6.514, alterou-se o capítulo V do título II da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) relativo à Medicina e Saúde do Trabalho. O Ministério do Trabalho e Emprego recebeu a responsabilidade legal, prevista no artigo 200 da CLT, de estabelecer disposições complementares às normas deste Capítulo, tendo em vista as peculiaridades de cada atividade ou setor de trabalho. Publicou-se então, em 1978, a Portaria nº 3.214 que regulamentou a referida lei e aprovou as Normas Regulamentadoras (NR)³² (BRASIL, 1977; BRASIL, 1978).

Segundo o item 9.1.5 da Norma Regulamentadora Nº 9 (NR 9), que trata do “Programa de Prevenção de Riscos Ambientais” (PPRA):

[...], consideram-se riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador (BRASIL, 1994a, não paginado).

A mesma NR, assim define os agentes físicos, químicos e biológicos:

Consideram-se agentes físicos as diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores, tais como: ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, bem como o infra-som e o ultra-som (BRASIL, 1994a, não paginado).

Consideram-se agentes químicos as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão (BRASIL, 1994a, não paginado).

Consideram-se agentes biológicos as bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros (BRASIL, 1994a, não paginado).

Como parâmetro inicial para classificação de potenciais ambientes geradores de riscos biológicos, têm-se que a Norma Regulamentadora Nº 15 (NR 15), através de seu Anexo Nº 14 – “Agentes Biológicos”, fornece uma relação das atividades que envolvem agentes biológicos, cuja insalubridade é caracterizada pela avaliação

³² Atualmente, existem 36 Normas Regulamentadoras. A Portaria 3.214/78 aprovou 28 delas, sendo NR 01 a NR 28. Posteriormente, por meio de outras Portarias, aprovou-se as NRs restantes.

qualitativa³³. Em resumo, são atividades que envolvem contato permanente com pacientes, animais, material infecto-contagante, esgotos (galerias e tanques) e lixo urbano (coleta e industrialização) (BRASIL, 1979).

No contexto da proteção respiratória, os riscos respiratórios nos ambientes de trabalho podem ser por deficiência de oxigênio, e em decorrência da presença de agentes químicos, ou aos dois, simultaneamente (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.2.1 Deficiência de oxigênio

Qualquer ambiente com oxigênio abaixo do normal é considerado deficiente; sendo atmosfera normal definida como aquela que contém 20,9% de oxigênio, em volume, e 79,1% de nitrogênio, ao nível do mar³⁴ (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Quando o nível de oxigênio está entre 20,9% e 19,5% (ao nível do mar), começam a surgir efeitos fisiológicos pouco nocivos, embora o indivíduo exposto geralmente não os perceba. O valor legal é definido a partir da porcentagem de oxigênio em que os sintomas³⁵ começam a ser detectados. Abaixo desse valor, o ambiente é considerado, do ponto de vista legal, deficiente de oxigênio (TORLONI; VIEIRA, 2003). Segundo o Anexo Nº 11 – “Agentes Químicos cuja Insalubridade é Caracterizada por Limite de Tolerância e Inspeção no Local de Trabalho”, da Norma Regulamentadora Nº 15 (NR 15), uma atmosfera é deficiente de oxigênio quando sua concentração em volume for inferior a 18%. Entretanto, uma vez que a referida NR não especifica a pressão do ar relacionada, acredita-se tratar-se da pressão atmosférica ao nível do mar³⁶ (BRASIL, 1978).

“[...] somente a porcentagem de oxigênio não é suficiente para caracterizar a deficiência de oxigênio; é necessário conjugar a porcentagem desse gás com a pressão ambiente” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 135). No estudo da fisiologia

³³ De maneira geral, refere-se à avaliação realizada sem o auxílio de instrumentos de medição.

³⁴ Ao nível do mar, a pressão atmosférica corresponde a 760 mmHg, sendo a pressão parcial do oxigênio (ppO₂) equivalente a 159mmHg (TORLONI; VIEIRA, 2003).

³⁵ Dentre os efeitos da deficiência de oxigênio que começam a ser detectados, podem ser citados: alteração da respiração e do estado emocional; fadiga anormal em qualquer atividade e extinção de chama (REKUS, 1994 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

³⁶ Dito de outra forma, uma atmosfera deficiente de oxigênio caracteriza-se então por apresentar ppO₂ inferior a 136,8 mmHg (TORLONI; VIEIRA, 2003).

respiratória e dos riscos respiratórios, a grandeza mais importante é a pressão parcial (pp). “Em uma mistura de gases ideais, denomina-se pressão parcial aquela que o componente da mistura gasosa exerceria no ambiente se ocupasse sozinho e na mesma temperatura todo o volume da mistura” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 46). A soma das pressões parciais é igual à pressão total, ou no caso dos gases atmosféricos, à pressão atmosférica (pressão ambiente) (TORLONI; VIEIRA, 2003).

A porcentagem de oxigênio num local pode diminuir devido à mecanismos de consumo, diluição ou adsorção. O consumo, ocorre tanto na combustão, quando o oxigênio do ar reage com o material combustível (nos incêndios, por exemplo), como na oxidação de metais (nas superfícies internas de reservatórios; em equipamentos fechados de processamento de aço sem pintura; em poços de visita de pequenas dimensões localizados abaixo do solo e que contenham estruturas metálicas como escadas de aço, por exemplo). O mecanismo de diluição dá-se quando gases inertes são utilizados na inertização de tanques ou de equipamentos que vão sofrer manutenção. Esses gases deslocam o ar presente, diluindo ou expulsando-o totalmente. Por último, a adsorção³⁷ do oxigênio do ar pode ocorrer em leitos de carvão ativo no interior de reatores ou câmaras (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.2.2 Agentes químicos

Os agentes químicos podem se apresentar no ambiente como contaminantes particulados, contaminantes gasosos, ou fumaça (mistura de ambos os contaminantes). Os contaminantes particulados podem ser classificados de acordo com seu estado físico e propriedades, ou ainda de acordo com as reações que o organismo humano apresenta quando esses materiais são inalados. Os contaminantes gasosos, por sua vez, podem ser estudados sob o ponto de vista de suas propriedades químicas, e também pelos efeitos principais provocados no organismo (TORLONI; VIEIRA, 2003).

³⁷ Chama-se sorção o fenômeno pelo qual as moléculas de gases e vapores em contato com a superfície de determinados sólidos são atraídas e nela ficam presas. Ao contrário do processo de absorção, na adsorção, as moléculas permanecem imutáveis na superfície do sólido, sem reagir quimicamente com ele, ou seja, sem que ocorra uma mudança na natureza química das substâncias envolvidas (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.2.2.1 Contaminantes particulados

Uma suspensão de partículas (sólidas ou líquidas) no ar recebe o nome genérico de aerossol, ou aerodispersóide. No aerossol, a fase contínua ou meio de dispersão é o ar, e a fase descontínua ou dispersa são as partículas. A concentração de aerodispersóides é expressa geralmente em mg/m^3 (miligramas do contaminante por metro cúbico de ar)³⁸ (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Classificação de acordo com o estado físico

De acordo com seu estado físico e propriedades, os contaminantes particulados podem apresentar-se como poeiras, névoas, fumos, neblinas e radionuclídeos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1999, p. 4), poeira é definido como “aerodispersóide gerado mecanicamente, constituído por partículas sólidas formadas por ruptura mecânica de um sólido”.

As poeiras são geradas no manuseio de sólidos a granel, como grãos; na forma de pó³⁹; na britagem ou moagem de minérios; na detonação para desmonte de rochas; nos processos de corte por serra circular; no lixamento de materiais; no peneiramento de materiais orgânicos ou inorgânicos (TORLONI; VIEIRA, 2003); em processos de jateamento abrasivo, esmerilhamento, polimento; etc. (USP, 2013c).

Cabe frisar que, poeiras sedimentadas ao longo do tempo na forma de pós em bancadas, piso, estruturas, etc. podem prontamente ser redispersados no ambiente de trabalho pelo trânsito de pessoas, movimentação de equipamentos e/ou correntes de ar (USP, 2014a).

Névoa pode ser entendida como “aerodispersóide constituído por partículas líquidas formadas por ruptura mecânica de um líquido” (ABNT, 1999, p. 4).

³⁸ “No caso do asbesto, é usual a unidade fibras/ cm^3 ” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 146).

³⁹ Pó é o material particulado quando está em repouso sobre uma superfície. Um material que seja suficientemente triturado, ralado, moído, lixado ou cortado tende a se transformar em um pó. Do ponto de vista químico, um pó é, portanto, o mesmo material do sólido que o gerou. Poeira, por sua vez é o pó em suspensão em um ambiente, e sua composição química não será necessariamente a do material que gerou o pó, pois dependerá de gases e outros materiais que poderão estar presentes na atmosfera (USP, 2013d).

As névoas estão sempre acompanhadas pelo vapor do líquido que a constitui, pois, as gotículas, com grande área superficial, geram o vapor (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 148).

No sistema de pintura por pulverização convencional (pistola de ar comprimido), por exemplo, utilizando-se tinta com solvente orgânico, a névoa é formada pelas gotículas do solvente orgânico (as quais contém pigmento, secante e outros componentes da tinta) e pelo vapor do solvente. Caso a pintura seja feita com pincel ou rolo, o agente químico que representa risco respiratório seria somente o vapor do solvente (TORLONI; VIEIRA, 2003).

As névoas podem ser geradas por nebulização; em operações que utilizam óleo de corte (TORLONI; VIEIRA, 2003); em processos de banhos de galvanoplastia, decapagem, desengraxe (USP, 2013c) (a névoa pode ser gerada por bolhas de gás que, ao chegarem na superfície de um líquido, rompem-se gerando partículas líquidas com composição semelhante); etc. (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Fumos são “aerodispersóides gerados termicamente, constituídos por partículas sólidas formadas por condensação de vapores, geralmente após volatilização de substância fundida [...], frequentemente acompanhada de reação química, tal como a oxidação” (ABNT, 1999, p. 3).

Os fumos metálicos são gerados nas operações de soldagem, metalização a quente, fundição, etc. Se a soldagem for feita em superfícies pintadas com zarcão a base de chumbo, ou galvanizadas e, se as temperaturas do arco elétrico forem suficientemente elevadas para volatilizarem esses metais, aparecem também o chumbo ou o zinco como contaminante (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Neblina pode ser definida como “aerodispersóide constituído por partículas líquidas formadas por condensação” (ABNT, 1999, p. 4).

“Na indústria, a ocorrência da neblina de um agente químico é muito rara, pois a condensação do vapor no ar só pode ocorrer quando este fica saturado pelo vapor de um líquido, seguindo-se da diminuição da temperatura do ar, provocando, então, a condensação do excesso de vapor presente⁴⁰” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 149).

⁴⁰ “Um exemplo doméstico de ocorrência de neblina é a sua formação no banheiro durante um banho quente prolongado” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 149).

Radionuclídeo, por sua vez, é definido como o “material que, em virtude da sua estrutura atômica, possui a capacidade de emitir, espontaneamente, radiação ionizante (partículas alfa, beta e radiação gama) ” (ABNT, 1999, p. 4).

Classificação de acordo com os efeitos sobre o organismo

De acordo com a American Conference of Governmental Industrial Hygienist – ACGIH® (2014): para substâncias químicas presentes no ar inalado (como suspensões de partículas sólidas ou líquidas), o risco potencial depende do tamanho da partícula, bem como da concentração em massa. Isso se deve aos efeitos do tamanho da partícula quanto ao local onde se deposita no trato respiratório, e à tendência de muitas doenças ocupacionais estarem associadas ao depósito do material particulado em regiões específicas do trato respiratório.

Segundo Torloni e Vieira (2003, pag. 2), “o sistema respiratório, pode ser dividido em três regiões, cada uma cobrindo uma ou mais regiões anatômicas. Elas diferem significativamente quanto à estrutura, ao perfil de escoamento do ar no seu interior [...], à função [...] e à sensibilidade perante as partículas depositadas”.

A primeira região corresponde a “região da cabeça ou nasofaringe”, o qual inclui nariz, boca faringe e laringe. Em seguida têm-se a “região traqueobrônquica” incluindo desde a laringe até os bronquíolos terminais; e por último, a “região alveolar”, constituída basicamente pelos dutos alveolares e os sacos alveolares, sendo esta responsável pela troca gasosa entre o ar e o sangue (TORLONI; VIEIRA, 2003). A Figura 5 apresenta o esquema do sistema respiratório.

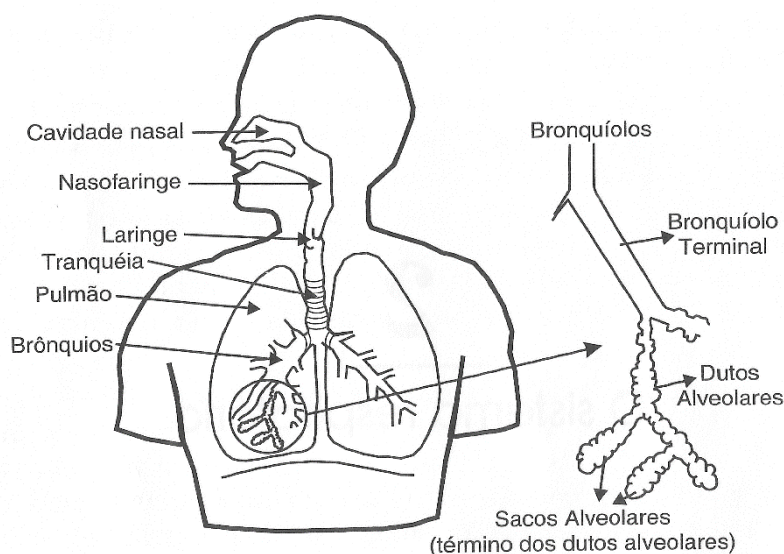


Figura 5 – Esquema do sistema respiratório
Fonte: TORLONI; VIEIRA, 2003

Dito isso, têm-se que “a deposição das partículas no trato respiratório é função do seu diâmetro aerodinâmico⁴¹” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 150), sendo o tamanho do material particulado expresso em três formas: inalável, torácico e respirável (ACGIH®, 2014).

A fração das partículas contaminantes existentes no ar e que podem se depositar em qualquer uma das regiões do trato respiratório é denominada “fração inalável”, com diâmetro de corte para 50% da massa das partículas igual a 100 μm [micrômetros⁴²]. A fração que pode se depositar nas vias aéreas (região traqueobrônquica), e na região de troca gasosa (alvéolos) é denominada “fração torácica”, com diâmetro de corte para 50% da massa das partículas igual a 10 μm , e a que atinge a região alveolar é a “fração respirável”, com diâmetro de corte para 50% da massa das partículas igual a 4 μm (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 150).

De acordo com Torloni e Vieira (2003), para haver penetração de partículas nos pulmões, é necessário que seu diâmetro esteja na faixa de tamanhos que constitui a fração torácica, isto é, seja inferior a 10 μm . Se as partículas forem menores que 5 μm , estas atingem os alvéolos facilmente.

⁴¹ Como a forma das partículas sólidas em geral é irregular, é comum caracterizar seu tamanho sob o título “diâmetro aerodinâmico”. Este representa a dimensão de uma partícula imaginária de formato esférico com densidade unitária e que tem o mesmo comportamento aerodinâmico (isto é, velocidade de deposição) da partícula real, que tem formato e densidade próprios (TORLONI; VIEIRA, 2003). A partir desse ponto, qualquer referência a diâmetro de partícula significa diâmetro aerodinâmico.

⁴² Um micrômetro (μm) equivale a 0,001 mm; ou 0,000001 m (ou ainda 10^{-6} m) (USP, 2013a; TORLONI; VIEIRA, 2003).

Os aerodispersóides são constituídos por partículas com diâmetro na faixa de 0,01 μm a 100 μm ; sendo que as poeiras, normalmente possuem tamanho de 0,1 μm a 25 μm . A maior parte delas na indústria é formada por partículas de tamanho muito variado, prevalecendo, numericamente, as menores, embora sejam percebidas apenas as de maior tamanho. Salvo raras ocasiões, quando se enxerga uma poeira próxima de uma fonte geradora, provavelmente as partículas presentes, em sua maioria, são as invisíveis (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Nos processos que geram fumos, as partículas são extremamente pequenas, geralmente com diâmetros abaixo de 1 μm (TORLONI; VIEIRA, 2003). Na Figura 6 a seguir, encontra-se a relação de tamanho entre partículas com diferentes características (assim como algumas moléculas).

Intuitivamente, pode-se pensar que todas as partículas se assentam sobre a influência da gravidade e se depositam rapidamente nas superfícies, mas isso não é verdade para as de menor tamanho. De acordo com a lei de Stoke, a velocidade na qual as partículas se assentam aumenta com o quadrado de seu diâmetro; ou seja, uma partícula que tem a metade do tamanho de outra, cai quatro vezes mais lentamente. As partículas pequenas se assentam tão lentamente que, na prática, elas podem permanecer suspensas no ar por dias ou semanas (a não ser que se fixem a algum objeto que encontram). Ocorre também que as partículas pequenas se agregam de modo a formar partículas maiores, porém ainda menores que 2,5 μm (BAIRD; CANN, 2013).

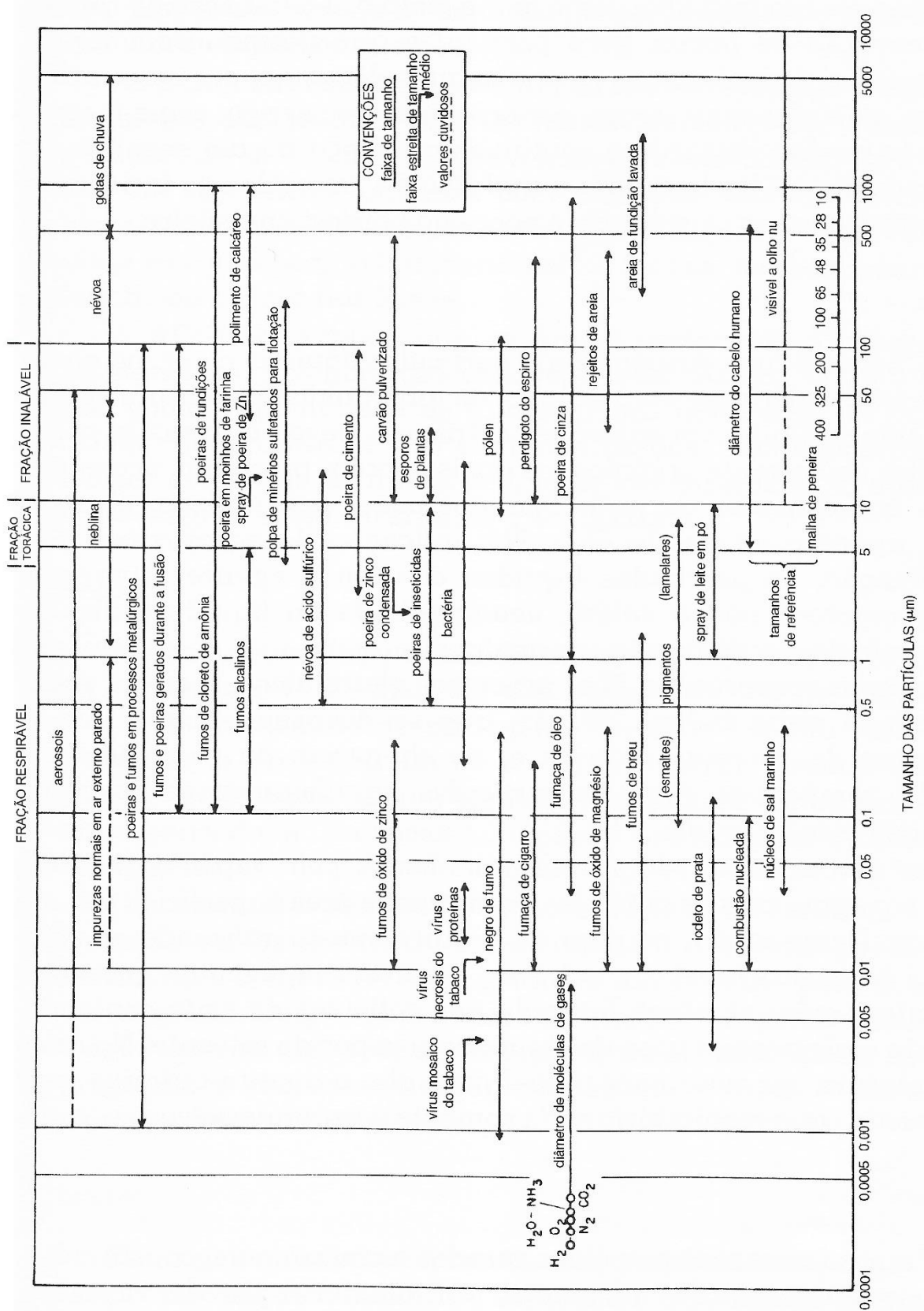


Figura 6 - Tamanho das partículas de diversos aerossóis
 Fonte: adaptado de LEIDEL; BUSCH; LYNCH, 1977 apud TORLONI; VIEIRA, 2003

Partículas (insolúveis ou de baixa solubilidade) não Especificadas de Outra Maneira (PNOS)

Segundo ACGIH® (2014, p. 81), a classificação PNOS se aplica a todas as partículas que: “não tenham um limite de exposição [...] aplicável [não constem na lista de valores da referida publicação]; sejam insolúveis ou de baixa solubilidade em água [...]; e tenham baixa toxicidade”.

Como baixa toxicidade, entende-se as partículas que não sejam quimicamente reativas com o tecido pulmonar, não emitam radiação ionizante e não causem imunossensibilização⁴³. Em suma, partículas que em contato com o pulmão, não causem outros efeitos tóxicos além da inflamação ou do mecanismo de “sobrecarga pulmonar” (ACGIH®, 2014).

Aerossóis fibrogênicos e não fibrogênicos

“Um aerossol é considerado fibrogênico quando tem a capacidade de desencadear reação orgânica que resulta na deposição de tecido conectivo (não elástico, não permeável) nas regiões do tecido pulmonar” (ALGRANTI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 158).

“Aerossóis não fibrogênicos ou inertes são os que, quando depositados no sistema respiratório, têm limitada capacidade de provocar reação orgânica maior que a fagocitose⁴⁴” (ALGRANTI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 158).

Cabe ressaltar que em determinadas situações, como por exemplo em exposição a grandes concentrações de partículas não fibrogênicas, estas podem provocar discretas reações semelhantes à dos aerossóis fibrogênicos (ALGRANTI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

Alguns aerossóis podem ser classificados como fibrogênicos ou não fibrogênicos dependendo de algumas variáveis, como por exemplo: presença de fibras (naturais ou artificiais), porcentagem de sílica cristalina acima de 7,5 na fração

⁴³ “Sensibilização – Termo aplicado à exposição a uma substância (alérgeno) que provoca uma resposta no sistema imune, de modo que os sintomas da doença ocorram em exposições subsequentes à mesma substância” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 67).

⁴⁴ “Fagocitose – Termo usado para descrever a ingestão de microorganismos, células e partículas estranhas pelos fagócitos, ou seja, pelos macrófagos fagocíticos” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 65).

respirável, entre outros. Nesse grupo, pode-se citar as poeiras mistas, negro de fumo [fuligem], e grafite sintético (ALGRANTI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

São exemplos de aerossóis fibrogênicos: carvão mineral, cobalto, ligas de metais de alta dureza, carbetos de silício (carborundum), alumínio, poeiras contendo asbesto (e outras fibras naturais), poeira com fibras artificiais (fibra de vidro, lã de vidro, fibra cerâmica), poeira contendo sílica cristalina com porcentagem acima de 7,5% na fração respirável, etc. (ALGRANTI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

Desde que observado a quantidade de sílica cristalina misturada (se houver), são exemplos de aerossóis não fibrogênicos: estanho, carvão vegetal, ferro, sílica amorfa, titânio puro, etc. (ALGRANTI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

Poeiras que contém uma porcentagem de sílica cristalina inferior a 7,5% na fração respirável juntamente com partículas menos fibrogênicas como o carbono, óxido de ferro, mica e outras, são comuns em diversas atividades industriais (ALGRANTI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003). Para poeiras mistas contendo sílica livre abaixo de 10% associada a poeiras menos fibrogênicas (como o ferro, óxidos de alumínio, silicatos como o caolim, as micas, o carvão mineral, e as PNOS), estas apresentam poder fibrogênico diminuído. De maneira geral, os silicatos não têm efeito patogênico, desde que observado a presença de fibras ou sílica cristalina, para os casos de poeira mista (KITAMURA; BAGATIN; CAPITANI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

“A sílica contém átomos de silício e oxigênio em estruturas moleculares diferentes, originando diversas substâncias químicas com características toxicológicas diferentes” (KITAMURA; BAGATIN; CAPITANI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 161). Trata-se de um dos minerais mais abundantes na natureza (representando aproximadamente 60% da crosta terrestre) e são considerados as substâncias químicas naturais mais insolúveis e menos reativas (KITAMURA; BAGATIN; CAPITANI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

A sílica, ou dióxido de silício (SiO_2), existe sob a forma cristalina (quartzo), criptocristalina (calcedônia, sílex) e amorfa (terra diatomácea), sendo que a sílica cristalina pode ser encontrada livre ou combinada. Apenas a sílica amorfa, que é uma forma não cristalina, praticamente não apresenta ação tóxica para os pulmões (KITAMURA; BAGATIN; CAPITANI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

Quando combinada, a sílica está ligada quimicamente a óxidos de metais como magnésio, alumínio, ferro e outros (Na, K, F, Ca, OH), constituindo os silicatos. São exemplos de minérios ricos em silicatos: o talco (silicato de magnésio); o caolim (silicato de alumínio); o feldspato (mistura de sílica livre com silicatos); a vermiculita e as micas (silicatos complexos hidratados de alumínio); o asbesto; entre outros (KITAMURA; BAGATIN; CAPITANI, 1996 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

O termo amianto é a designação comercial de várias fibras minerais, (normalmente silicatos hidratados de ferro, magnésio, cálcio ou sódio) denominados cientificamente de asbesto. Dentre as variedades que têm maior importância comercial, destaca-se o grupo da serpentina (ou crisotila) e dos anfibólios; sendo o grupo da serpentina o mais abundante e de maior importância econômica (WÜNSCH, 1995 apud TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.2.2.2 Contaminantes gasosos

“Em proteção respiratória, gases e vapores são tratados do mesmo modo, por terem muito em comum, embora conceitualmente sejam diferentes” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 164); são definidos da seguinte maneira:

Gás é um fluido que está no estado gasoso, nas condições ordinárias de pressão e temperatura. Este estado caracteriza-se pelo fato de que as moléculas não têm restrições de movimento, uma vez que as forças de coesão entre elas são muito fracas, e por isso ocupam todo o espaço (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 164).

Vapor é fase gasosa de uma substância que existe normalmente no estado líquido ou sólido, nas condições ordinárias de temperatura e pressão. Para um vapor retornar ao estado líquido ou para um líquido se evaporar, não são necessárias mudanças acentuadas de temperatura ou de pressão. Os vapores, como os gases, também ocupam todo o espaço. [...] são formados a partir das moléculas que se libertam das substâncias que na temperatura e pressão ambiente são líquidas ou sólidas, mas têm pressão de vapor relativamente elevada, isto é, são voláteis” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 164-165).

A concentração dos gases e vapores é expressa geralmente em partes por milhão (ppm), ou seja, partes em volume do gás (ou vapor) por um milhão de partes, em volume do ar (na temperatura e pressão ambientes). Cabe observar também que,

ao contrário do que ocorre na exposição ao material particulado, a concentração de gases e vapores que chega aos pulmões é a mesma existente no ar, devido ao tamanho diminuto das moléculas envolvidas (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Classificação de acordo com as propriedades químicas

Essa classificação ocorre devido principalmente à sua influência na seleção de filtros para respiradores. Os gases e vapores podem ser: orgânicos, ácidos, alcalinos, inertes e especiais⁴⁵ (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Gases e vapores orgânicos contém carbono em sua estrutura molecular. Estes podem ser: metano, etano, butano, etileno, acetileno, álcoois (etílico, butílico), cetonas (acetona), ésteres (éter etílico), aldeídos (formaldeído), ácidos (acético, cítrico), benzeno, xileno, tolueno, etc. Os solventes, tão comuns na indústria geram vapores orgânicos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Os gases e vapores ácidos são corrosivos aos tecidos do corpo humano e reagem com o metal produzindo hidrogênio gasoso e sal do metal. Entre eles, temos: cloreto de hidrogênio; dióxidos de enxofre, de cloro, de flúor, de carbono, de nitrogênio; ácido acético; gás sulfídrico; etc. (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Contaminantes gasosos alcalinos também podem ser corrosivos aos tecidos humanos. Como exemplo, pode-se citar: amônia, fosfina, estibina, entre outros (TORLONI; VIEIRA, 2003).

No grupo dos gases e vapores inertes, estes correspondem as substâncias que não reagem quimicamente com outras nas condições normais de pressão e temperatura, como por exemplo: nitrogênio, dióxido de carbono, hélio, argônio, neônio, metano, butano e acetileno. Quando presentes em concentrações elevadas, podem gerar ambientes com deficiência de oxigênio (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Por último, a categoria de contaminantes gasosos especiais, existe em função de critérios para seleção de respiradores, e inclui: monóxido de carbono, formaldeído, óxidos de nitrogênio, óxido de etileno, entre outros (TORLONI; VIEIRA, 2003).

⁴⁵ De acordo com Torloni e Vieira (2003), essa classificação não é indicação da toxicidade de uma substância.

Classificação de acordo com os efeitos sobre o organismo

Os gases e vapores podem também ser classificados de acordo com os efeitos que provocam no organismo, como: asfixiantes, irritantes, anestésicos, sensibilizantes e carcinogênicos; além de efeitos sistêmicos, mutações e alterações genéticas. Algumas substâncias podem provocar mais de um tipo de reação (TORLONI; VIEIRA, 2003).

“A asfixia é a consequência do bloqueio dos processos vitais pela falta de oxigênio” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 168). Esse efeito pode ocorrer por deficiência de oxigênio (como na diluição provocada por gases inertes), sendo denominada asfixia simples; e por mecanismos bioquímicos, ou seja, interferindo com o suprimento ou utilização do oxigênio em nível molecular (como por exemplo, o monóxido de carbono e o gás sulfídrico), nesse caso denominado asfixia bioquímica (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Gases e vapores irritantes, geralmente se apresentam como substâncias corrosivas, sendo que o local e a intensidade da ação nas vias respiratórias dependem principalmente da solubilidade e da concentração do agente (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Os agentes com ação anestésica apresentam ação depressora do sistema nervoso central, e são constituídos por todos os gases e vapores orgânicos. Como exemplo, pode-se citar: eteno, ésteres, aldeídos, cetonas, benzeno, tolueno, xileno. Alguns como, propano, butano, etileno e acetileno, não produzem efeitos sérios (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Como sensibilizantes, entende-se os contaminantes gasosos que, quando inalados, podem causar a formação de anticorpos. O termo refere-se à exposição a uma substância específica (alérgeno) que ocasiona uma resposta do sistema imune, de maneira que os sintomas ocorram em exposições subsequentes à mesma substância⁴⁶ (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Em relação aos compostos carcinogênicos, ou seja, capazes de produzir ou acelerar o aparecimento de câncer (mutações genéticas), não deve ser permitido nenhum contato ou exposição (exemplo: benzeno) (TORLONI; VIEIRA, 2003).

⁴⁶ Muitos contaminantes orgânicos, na forma de particulado respirável, podem provocar doenças por sensibilização (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Certos gases e vapores inalados não ocasionam danos pulmonares apenas, e sim em outros órgãos e sistemas do corpo; caracterizando assim os efeitos sistêmicos. Dentre eles, pode-se citar: mercúrio, fósforo, gás sulfídrico, arsina, benzeno, nitritos, etc. (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Outras substâncias são capazes de causar mudanças no material genético de óvulos e espermatozoides (mutações genéticas hereditárias); ou ainda malformações no desenvolvimento de fetos ou embriões (alterações genéticas não hereditárias), tais como substâncias teratogênicas (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.2.2.3 Fumaça

Segundo Torloni e Vieira (2003, p. 149), “fumaça é a mistura formada por partículas suspensas no ar, gases e vapores resultantes de combustão incompleta de materiais”.

Tabaco

De acordo com Baird e Cann (2011), a fumaça de tabaco no ambiente, tem sido objeto de muitos estudos para determinar seus efeitos em pessoas expostas a ela. Conforme os autores:

É sabido que a fumaça de tabaco é a principal causa de câncer de pulmão e é um dos principais contribuintes para doenças cardíacas. Não fumantes são frequentemente expostos à fumaça de cigarro, embora em concentrações menores que os fumantes, uma vez que esta se dilui pelo ar (BAIRD; CANN, 2011, p. 190).

Segundo Baird e Cann (2011), os constituintes químicos da fumaça do tabaco são complexos; contêm centenas de componentes, algumas dúzias das quais são carcinogênicas.

A fase particulada da fumaça de cigarro é chamada de alcatrão, e grande parte dela é “respirável”. Em uma determinada zona no cigarro, constituintes da fumaça como a nicotina são destilados para fora do tabaco; e quando esse vapor esfria junto

com a fumaça em direção ao fumante, grande parte dela se condensa em aerossóis que constituem o material particulado da fumaça (BAIRD; CANN, 2011).

Entre os gases que o constituem, incluem-se por exemplo: monóxido de carbono; dióxido de carbono, aldeídos (formaldeídos), cetonas, ácidos carboxílicos, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos nitrogenados, cianeto de hidrogênio, amônia, compostos orgânicos nitrogenados, cloreto de metilas, tolueno, benzeno, cádmio, várias centenas de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), etc. (BAIRD; CANN, 2011).

Os componentes gasosos originados, como por exemplo, o formaldeído, a acetona, o tolueno e a amônia, causam a maior parte do odor e da irritação. As exposições a fumaça de tabaco agravam os sintomas de muitas pessoas que sofrem de asma ou de angina peitoral (dores no peito provocadas por esforço). A exposição a esse tipo de fumaça pode causar irritação nos olhos e nas vias respiratórias (BAIRD; CANN, 2011).

No contexto da higiene ocupacional, têm-se que:

Mesmo considerando a possibilidade de haver alguma diluição durante o ato de fumar, ou ainda que um dado cigarro forneça concentrações mais baixas, as diferenças entre o esperado na fumaça de um cigarro e o máximo aceitável para uma exposição profissional são enormes (USP, 2013b, p. 340).

Sendo assim, o fumante pode ser considerado como fonte poluidora de um local de trabalho, uma vez que pode levar outros trabalhadores não fumantes a uma exposição ao fumo. Desta forma o dito “fumante passivo” deve ser alvo de atenção da Higiene Ocupacional; sendo esse assunto objeto de legislação específica em diversos países, inclusive com estabelecimento de nexos causais entre doença pulmonar em não fumante no mesmo ambiente de trabalho com fumantes (USP, 2013b).

Motores Diesel

Motores veiculares de combustão interna transformam a energia química do combustível (de origem fóssil ou vegetal) em energia térmica e parte desta se transforma em movimento. No processo de combustão interna dos motores, além de energia liberada para o trabalho, é inevitável a geração de calor, ruído, particulados e gases (HEYWOOD, 1988 apud NÓBREGA, 2007).

O óleo diesel é utilizado em motores de combustão interna à ignição por compressão (motores de ciclo diesel) empregados nas mais diferentes aplicações, como por exemplo: caminhões, ônibus, máquinas pesadas, locomotivas, navios, geradores elétricos, etc. (NÓBREGA, 2013).

Para o contexto da higiene ocupacional, têm-se que “as exposições ocupacionais ao material particulado de motores Diesel são em geral muito mais elevadas do que as exposições ambientais⁴⁷” (DIESELNET, 1999 apud NÓBREGA, 2007, p. 33).

Dentre inúmeras variáveis que afetam as emissões de poluentes por esses motores, pode-se dizer que os principais contaminantes são: material particulado, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos (além de pouquíssimo teor de monóxido de carbono) (WALSH, 1996 apud NÓBREGA, 2013).

A fumaça preta liberada para o ar pelos caminhões é frequentemente a forma de poluição mais óbvia encontrada rotineiramente nas cidades. A fumaça é composta em sua maioria de material particulado (BAIRD; CANN, 2011).

“As partículas emitidas por motores diesel são muito pequenas, sendo que a maior parte da massa emitida (mais de 90%) são partículas ultrafinas (menor que 1 μm)” (NÓBREGA, 2007, p. 18). Essas partículas, associadas com os gases de exaustão do motor, são compostas primariamente de carbono (orgânico e elementar) com uma pequena fração composta de material inorgânico, como os metais (NÓBREGA, 2007). Na constituição do material particulado, também são encontrados hidrocarbonetos (em função da queima incompleta de combustível diesel e óleo lubrificante), água, sulfato (do enxofre no combustível), cinza do óleo lubrificante e resíduos não identificados (NÓBREGA, 2007; NÓBREGA, 2013).

A fuligem, ou negro de fumo (carbono puro), não apresenta problemas para saúde humana, porém a irregularidade e porosidade de superfície faz com que ela adsorva vários hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)⁴⁸ carcinogênicos, incluindo o mais tóxico e perigoso: benzopireno. A Figura 7 a seguir, apresenta o

⁴⁷ “Exposição ambiental ocorre em todo o mundo, primariamente em áreas urbanas. A exposição depende da área geográfica, número e tipo de veículos, área e das condições de dispersão atmosférica e geográfica” (USEPA, 2002 apud NÓBREGA, 2007, p. 33).

⁴⁸ HPA “são compostos orgânicos contendo dois ou mais anéis aromáticos condensados, formados por átomos de carbono e hidrogênio [...]. São inertes quimicamente e na atmosfera reagem com óxidos de nitrogênio, ácido nítrico, óxidos de enxofre, ácido sulfúrico e ozônio” (NÓBREGA, 2007, p. 30).

desenho esquemático com indicação de alguns compostos encontrados na análise de poluentes gerados no processo de combustão de motores Diesel (NÓBREGA, 2013).

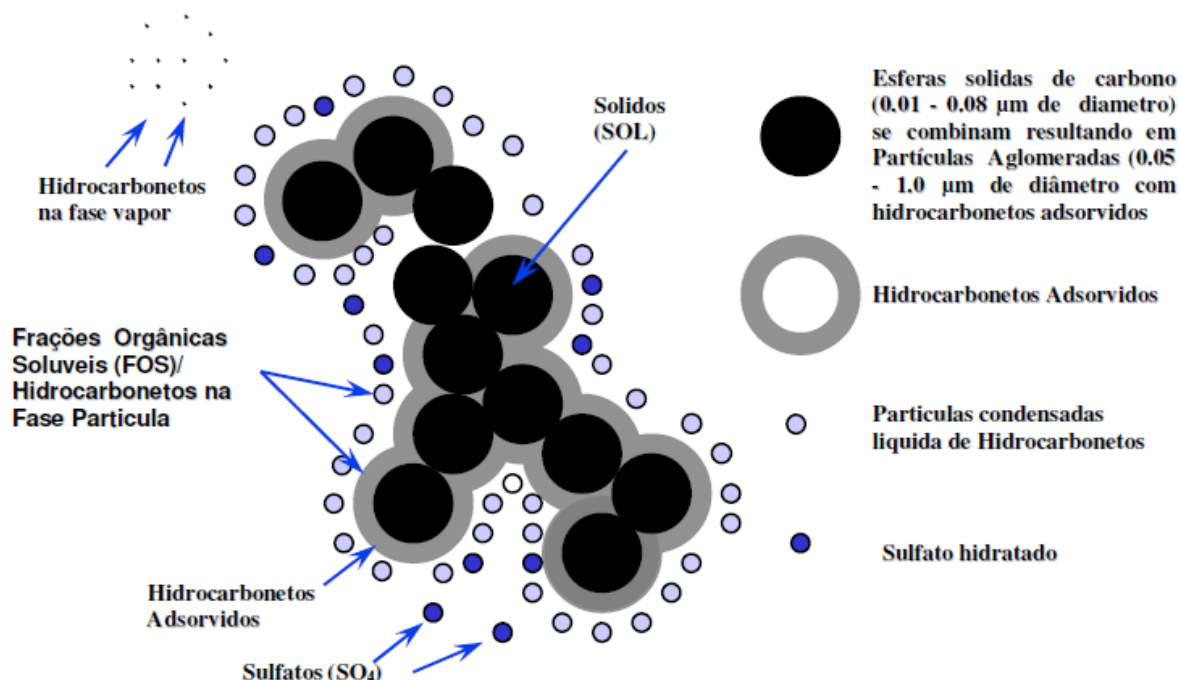


Figura 7 – Esquema de compostos poluentes da exaustão de motores Diesel nas fases gasosa e sólida

Fonte: CHATTERJEE, 2004 apud NÓBREGA, 2013

De acordo com Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb (2012a), estudos realizados pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC - International Agency for Research on Cancer) demonstraram a carcinogenicidade para o ser humano dos gases de escapamento de motores a Diesel. Nesses estudos foram encontradas evidências suficientes de que estes gases causam câncer de pulmão e evidência limitada para o aparecimento de câncer de bexiga.

2.2.2.4 Processos de fabricação

São inúmeros e variados os processos de transformação de metais e ligas metálicas em peças; pode-se fundir, utilizar a metalurgia do pó, soldar ou usinar o metal a fim de se obter a peça desejada. A fundição é o processo de fabricação inicial,

pois precede os demais; conformação mecânica, usinagem e soldagem utilizam produtos semi-acabados (barras, chapas, tubos, perfis, etc.) como matéria prima que advém do processo de fundição (COSTA & SANTOS, 2006 apud SIMIÃO, 2011).

FISPQ

Conforme ressalta Torloni e Vieira (2003), é de fundamental importância, conhecer os produtos químicos utilizados na empresa, bem como os produtos gerados nos processos. Como ponto de partida, pode-se obter informações importantes a partir da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ).

A FISPQ, instituída pela norma ABNT NBR 14725-4/2014 intitulada “Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ)”, é um meio de o fornecedor transferir informações essenciais sobre os perigos de um produto químico (incluindo informações sobre o manuseio, transporte armazenagem e ações de emergência) ao usuário deste, possibilitando a ele tomar as medidas necessárias relativas à segurança, saúde e meio ambiente. A FISPQ também pode ser usada para transferir essas informações a todos que tiverem interesse, como: trabalhadores, empregadores, profissionais da saúde e segurança, pessoal de emergência, agências governamentais, assim como membros da comunidade, instituições, serviços e outras partes envolvidas com o produto químico (ABNT, 2014).

Do ponto de vista legal, cabe citar o Decreto n. 2.657/98 que “Promulga a Convenção nº 170 da OIT, relativa à Segurança na Utilização de Produtos Químicos no Trabalho, assinada em Genebra, em 25 de junho de 1990”. Essa Convenção, denominada pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) como “Convenção sobre Produtos Químicos”, aplica-se a todos os ramos da atividade econômica em que são utilizados produtos químicos, ou seja, implica toda atividade que poderia expor um trabalhador a um produto químico, abrangendo desde a sua produção, manuseio, armazenamento, transporte, entre outros, até a sua emissão resultante do trabalho (BRASIL, 1998).

De acordo com a referida Convenção, quando os empregadores receberem produtos químicos para os quais não tenham sido elaborados fichas com dados de segurança, estes empregadores deverão obter informações pertinentes junto ao

fornecedor ou a partir de outras fontes de informação razoavelmente disponíveis, não devendo utilizar esses produtos antes de obter-se tais informações (BRASIL, 1998).

A Norma Regulamentadora Nº 26 (NR 26), que trata da “Sinalização de Segurança” prevê que o fabricante ou o fornecedor no mercado nacional (no caso de importação) deve elaborar e tornar disponível a ficha com dados de segurança do produto químico para todo produto químico classificado como perigoso, bem como para o produto químico não classificado como perigoso, mas cujos usos previstos ou recomendados originem riscos à segurança e saúde dos trabalhadores (BRASIL, 2011).

Segundo a referida NR:

O formato e conteúdo da ficha com dados de segurança do produto químico devem seguir o estabelecido pelo Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), da Organização das Nações Unidas (BRASIL, 2011, não paginado).

Ainda de acordo com a NR 26, “os aspectos relativos à ficha com dados de segurança devem atender ao disposto em norma técnica oficial vigente” (BRASIL, 2011, não paginado), no caso, a NBR 14725-4/2014. A referida NR (BRASIL, 2011) estabelece que o empregador deve assegurar o acesso dos trabalhadores a essas fichas referente aos produtos químicos utilizados no local de trabalho, assim como garantir que esses trabalhadores recebam treinamento adequado em relação ao tema.

Conforme Abiquim (2005), o Sistema Harmonizado Globalmente para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS - The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals), trata-se de uma abordagem lógica e abrangente para os seguintes fatores: definição dos perigos dos produtos químicos; criação de processos de classificação que utilizem os dados disponíveis sobre os produtos químicos que são comparados a critérios de perigo já definidos; e a comunicação da informação de perigo em rótulos e FISPQ.

2.2.2.5 Usinagem

“[...] define-se usinagem como a operação que confere à peça forma, dimensões ou acabamento, ou ainda a combinação de qualquer desses três, através da remoção de material sob a forma de cavaco”.⁴⁹ (STOETERAU, 2010; MACHADO et al., 2009 apud SIMIÃO, 2011, p. 99). “O cavaco é a porção de material da peça retirada pela ferramenta e caracterizada por apresentar forma geométrica irregular” (MACHADO et al., 2009 apud SIMIÃO, 2011, p. 100).

Cerca de 95 a 98% da energia total consumida em processos de usinagem [exemplo: corte, furação e abrasão] é convertida em calor de diferentes maneiras. As três principais fontes de calor são: o processo de cisalhamento (em que a deformação plástica⁵⁰ resulta na maior fonte de calor, sendo que a maioria do calor permanece no cavaco), a deformação plástica adicional que ocorre no cavaco e o calor considerável gerado devido ao atrito na interface ferramenta-cavaco (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Temperaturas de cerca de 540°C podem ser atingidas na interface ferramenta-cavaco. Esse calor é geralmente prejudicial tanto para a ferramenta quanto para a qualidade do acabamento superficial da peça (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013). Quando se empregam maiores velocidades de corte ocorre maior geração de calor (devido ao atrito entre a ferramenta e a peça), causando maior desgaste das arestas cortantes da ferramenta e, por consequência, redução de sua vida útil. Já no caso inverso, com menores velocidades podem ocorrer problemas de acabamento e produtividade (SIMIÃO, 2011).

Utilizando-se fluidos de corte, pode-se diminuir o coeficiente de atrito reduzindo, assim, a quantidade de calor gerado no processo. As principais funções desses fluídos são lubrificação e refrigeração do corte, mas também outras funções podem ser aplicadas como: retirada do cavaco da região do corte; proteção contra a corrosão; redução no custo (devido a diminuição na compra de ferramentas para usinagem),

⁴⁹ A ação predominante na usinagem envolve deformação por cisalhamento da peça ocasionado por uma ferramenta de corte (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

⁵⁰ Deformação plástica ocorre quando uma peça metálica submetida a uma tensão de tração, após um primeiro estágio de deformação elástica, atinge um nível de tensão a partir do qual o metal passa a deformar-se plasticamente. Distinto da deformação elástica, que desaparece quando a tensão que a causa é retirada, a deformação plástica é permanente (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

prevenção contra a soldagem cavaco-ferramenta (formação de arestas postiças); etc. (TESSARO, 2008).

A escolha do fluido com determinada composição depende do material a ser usinado, do tipo de operação de corte e da ferramenta usada. Os fluidos de corte solúveis são indicados quando a função principal é refrigerar. Os óleos minerais, por outro lado, são usados quando a lubrificação é mais importante que o resfriamento (FOGO, 2008).

Para a classificação de fluidos de corte, não há uma padronização; embora seja eventualmente descrito na literatura a utilização de fluidos de corte sólidos e gasosos, os líquidos representam a grande maioria das aplicações em processos de usinagem (MACHADO et al., 2009 apud SIMIÃO, 2011).

Há uma grande variedade de fluidos disponíveis no mercado, que são divididos em quatro classes e agrupados em dois tipos básicos: os fluidos de corte integrais (óleos integrais) e os fluidos de corte à base de água (emulsionáveis, semi-sintéticos e sintéticos) (TESSARO, 2008).

Os óleos integrais possuem como composto básico o óleo mineral⁵¹, podendo ser utilizados no estado puro (sem aditivação) ou aditivado (presença de aditivos polares e/ou aditivos químicos ativos ou inativos). Nas emulsões, o óleo mineral está disperso na água como minúsculas gotículas. Nos óleos semi-sintéticos ocorre a presença de 5 a 50% de óleo mineral, mais compostos e aditivos químicos dissolvidos em água formando moléculas individuais ou microemulsões. Por último, os fluidos sintéticos constituem soluções químicas de sais orgânicos e inorgânicos dissolvidos em água, não contendo óleo mineral (TESSARO, 2008).

A partir de Amarante apud Coelho (2006), em um estudo realizado com oficinas de produção de peças metálicas na região de São Carlos (SP), pôde-se observar a composição de sete fluidos de corte comumente empregados, de acordo com a sua origem. O Quadro 2 a seguir apresenta essa relação.

⁵¹ Também podem constituir-se por óleos animais e vegetais (FOGO, 2008). “Diante dos problemas que podem ser causados tanto no ambiente de trabalho como no ambiente natural, uma alternativa que tem sido apresentada por alguns fabricantes de fluidos de corte é o retorno dos produtos de base vegetal (biodegradáveis), [...]” (KURODA, 2006 apud SIMIÃO, 2008, p. 112).

Natureza dos fluídos	Compostos encontrados
Vegetal	Ésteres com alceno cíclico; ésteres alifáticos; silicones
Sintético	Glicol; aminas terciárias; ésteres do ácido ftálico; silicones
Semi-sintético (sintético + mineral)	N-parafinas; amida graxa; álcool com duplas ligações conjugadas
Sintético	Hidrocarbonetos insaturados; silicones
Sintético	Hidrocarbonetos insaturados
Mineral	N-parafinas; hidrocarbonetos ramificados; silicones
Mineral	Hidrocarbonetos insaturados, saturados e ramificados

Quadro 2 – Componentes dos fluidos de corte
 Fonte: AMARANTE, 2003 apud COELHO, 2006

O fluído de corte deve ter alta capacidade calorífica, alta condutividade térmica, baixa taxa de evaporação, não corroer a ferramenta ou o equipamento, ser estável e não produzir fumos, além de não ser agressivo à saúde. (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013). A maioria dessas propriedades é conferida por meio da adição de aditivos aos fluidos, como por exemplo: antiespumantes, anticorrosivos, antioxidantes, detergentes, biocidas, entre outros (COSTA; SANTOS, 2006 apud SIMIÃO, 2011). Como exemplo, o Quadro 3 a seguir, apresenta a relação de alguns compostos empregados em aditivos de fluídos de corte.

Tipo de aditivo	Compostos empregados
Antioxidantes ou inibidores de oxidação	Compostos orgânicos contendo enxofre, fósforo e nitrogênio, como aminas, sulfetos e hidroxissulfetos
Preventivos de corrosão	Sufonatos, aminas, óleos graxos e alguns ácidos graxos, ácidos de cera oxidada, fosfatos, derivados de alguns ácidos graxos
Agentes de oleosidade, resistência de película, extrema pressão e antidesgaste	Compostos orgânicos contendo cloro, fósforo e enxofre, como ceras cloradas, fosfatos e fosfitos orgânicos (i.e., tricresilfosfato e ditiofosfato de zinco)
Cargas sólidas	Grafite, talco, argila, carbonato de cálcio, silicato de sódio
Passivadores metálicos	Compostos contendo complexos de nitrogênio e enxofre, como algumas aminas e sulfetos complexos
Agentes de elasticidade e aderência	Polímeros de elevado peso molecular e sabões de alumínio de ácidos graxos não saturados
Emulsificantes	Sabões de gorduras e ácidos graxos, ácidos sulfônicos ou ácidos naftênicos
Bactericidas ou desinfetantes	Álcoois, aminas, aldeídos, fenóis e compostos contendo cloro
Inibidores de espuma	Polímeros de silicone

Quadro 3 – Aditivos usados em fluidos de corte
 Fonte: REVISTA DE LUBRIFICAÇÃO, 1986 apud COELHO, 2006

Nas operações de usinagem são produzidos névoa, fumaça e micropartículas, além de outros gases que podem ser transportados pelo ar (HEYMEYER, 2006; QUEIROZ, 2001 apud TESSARO, 2008). As névoas, geradas pelo movimento do fluido que se pulveriza sobre a região onde ocorre a operação de usinagem, possuem efeito irritante para os trabalhadores, sendo sua quantidade relacionada a fatores como: tipo de usinagem, tipo de fluido de corte utilizado, e tamanho das gotículas produzidas durante a operação (QUEIROZ, 2001 apud TESSARO, 2008).

Furação

Como exemplo, em relação a ferramentas, pode-se citar as brocas helicoidais fabricadas em aço rápido conforme Figura 8 (IRWIN® FERRAMENTAS, 2014).



Figura 8 – Furação utilizando broca helicoidal de aço rápido

Fonte: IRWIN® FERRAMENTAS, 2014. Disponível em:

http://www.irwin.com.br/uploads/documents/100_2014-05-01-cat_irwin.pdf. Acesso em: 01 jul. 2015.

Segundo Kiminami; Castro e Oliveira (2013), aços rápidos são aços ao carbono com elementos de liga tais como tungstênio (W), cromo (Cr), vanádio (V), molibdênio (Mo) e cobalto (Co), sendo tratáveis termicamente, resistentes e retendo a dureza até temperaturas de 650 °C. A composição mais comum é o 18-4-1 (18% de W, 4% de Cr e 1% de V), sendo que a adição de 8% de cobalto à essa composição leva a um aumento de dureza e da temperatura de trabalho, produzindo aço que pode ser usinado à alta velocidade. Os aços rápidos apresentam bom desempenho a um custo inferior às ferramentas de carbeto.

No entanto cabe ressaltar que, de acordo com IRWIN® FERRAMENTAS (2014), furar aço requer baixa rotação e alta força de avanço, a fim de evitar o superaquecimento da broca e perda prematura do fio de corte.

Corte com serra circular

Nesta etapa da usinagem de metais, são utilizados discos de corte que possuem em sua composição uma mistura de grão abrasivo e liga a base de resina fenólica termo fixa, bem como minerais de rochas sedimentares de concentrações variadas conforme tamanho de grão, dureza e tamanho do disco (Figura 9). Os discos são fabricados com grãos de óxido de alumínio, carbeto de silício (carbodurum) e reforçados com telas de fibra de vidro. Cabe ressaltar, porém que, durante o processo de abrasão, 90% ou mais das partículas de poeira vêm do material que está sendo trabalhado, ou seja, o aço (SAINT – GOBAIN ABRASIVOS LTDA, 2011).



Figura 9 – Corte utilizando disco abrasivo de corte de óxido de alumínio

Fonte: WALTER TECNOLOGIAS EM SUPERFÍCIES. Disponível em:
http://www.walter.com/pt_BR/produtos/abrasivos/corte/chopcut. Acesso em: 02 jul. 2015.

Esmerilhamento

Na etapa de esmerilhamento são utilizados discos de desbaste (Figura 10), no entanto, a exemplo do corte com serra circular, a maior parte da poeira gerada durante a sua utilização é proveniente da peça trabalhada e não do disco. Os discos são compostos em sua maior parte de óxido de alumínio (60 - 80 %), contendo também

carbeto de silício (1 – 5 %), resina fenólica (5 – 10 %) e fibra de vidro (1 – 5 %) (WALTER INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2014).



Figura 10 – Esmerilhamento utilizando disco abrasivo de desbaste de óxido de alumínio
Fonte: WALTER TECNOLOGIAS EM SUPERFÍCIES. Disponível em:
http://www.walter.com/pt_BR/produtos/abrasivos/desbaste/hp-xx. Acesso em: 06 jul. 2015.

2.2.2.6 Oxicorte

O método de corte por reação química utilizando-se maçarico de corte e gases combustíveis é apresentado na fotografia da Figura 11 a seguir.



Figura 11 – Corte por reação química (oxicorte)
Fonte: HARRIS BRASTAK. Disponível em: http://www.harris-brastak.com.br/images/harris Equipamentos_2015.pdf. Acesso em: 06 jul. 2015.

O acetileno (C_2H_2), sendo largamente utilizado nesse processo como combustível (chama oxiacetilênica), além de ser um gás muito solúvel, é incolor e sem cheiro quando puro; entretanto, tem na sua forma comercial um cheiro característico, semelhante ao alho, devido a impurezas como: fosfina, arsina, sulfeto de hidrogênio e amônia (SENAI, 2013).

Os cilindros de acetileno, em função de algumas características do gás, são preenchidos com matéria porosa constituída de uma mistura de carvão, cimento especial e asbestos, ou de silicato de cálcio e asbestos. O acetileno, por sua vez, encontra-se dissolvido em acetona, na proporção de 25 volumes para 1 volume do solvente (acetona). Quanto aos cilindros de oxigênio, este detém uma pureza de 99,6% (SENAI, 2013); dentre as impurezas mais comuns têm-se o argônio e o nitrogênio (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

A chama oxiacetilênica pode produzir variadas temperaturas (da ordem de 3.100°C), dependendo da relação combustível/comburente, da pressão dos gases, do conteúdo de vapor de água no acetileno e, ainda, da temperatura ambiente (SENAI, 2013).

Quase todos os elementos combinam com o oxigênio, formando óxidos e liberando energia. A queima (ou reação de combustão) é uma reação química de oxidação, na qual se desenvolve uma grande quantidade de calor; esse calor em grande parte é transferido ao material (a ser cortado) que, conseqüentemente, se aquece (SENAI, 2013).

De acordo com Wainer; Brandi e Mello (1992), a combustão do acetileno ocorre em duas etapas: a combustão primária e a secundária. Na combustão primária, somente o oxigênio do cilindro participa da reação; já na secundária, ocorre a participação do ar atmosférico. Para volumes iguais de acetileno e oxigênio, as reações são as seguintes:

Combustão primária: $C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2CO + H_2$

Combustão secundária: $2CO + H_2 + 3/2 (O_2 + 4N_2) \rightarrow 2CO_2 + H_2O + 6N_2$

A Figura 12 a seguir apresenta esquematicamente a localização das reações de combustão do processo oxiacetilênico. Segundo Wainer; Brandi e Mello (1992, p. 181), o nitrogênio do ar entra na reação apenas para retirar calor da chama, sendo esta de maior seção transversal na região da zona secundária.

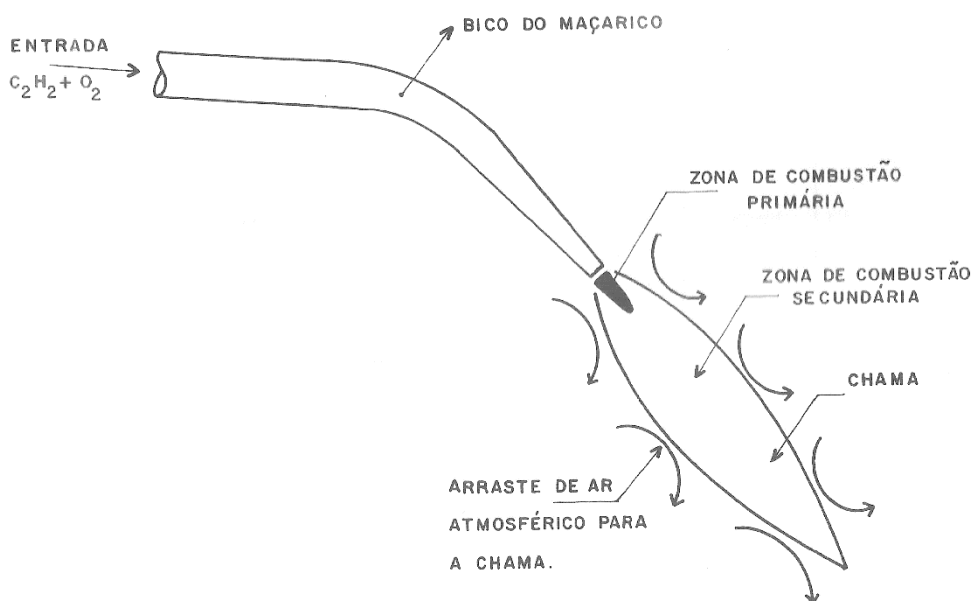


Figura 12 – Reações de combustão do processo oxiacetilênico
 Fonte: WAINER; BRANDI; MELLO, 1992

Cabe ressaltar que, excluídos eventuais poluentes, os gases presentes na atmosfera em pequenos percentuais (tais como argônio, neônio, hélio, criptônio, xenônio, hidrogênio e gás carbônico), desde que não entrem na reação, apenas serão aquecidos pela chama (causando a diminuição de sua temperatura) (SENAI, 2013).

“Todos os metais e ligas comercialmente conhecidos fundem-se em temperaturas abaixo dos 4.000°C. As ligas de aço, que são os materiais de maior utilização comercial, fundem na faixa de 1.500°C” (SENAI, 2013, p.226). De acordo com Wainer; Brandi e Mello (1992), o ferro contido na peça metálica, quando aquecido à elevadas temperaturas no oxigênio puro, dá origem as seguintes reações:

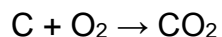
Primeira reação: $\text{Fe} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO} + 64 \text{ kcal}$

Segunda reação: $3\text{Fe} + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 266 \text{ kcal}$

Terceira reação: $2\text{Fe} + \frac{3}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 109,7 \text{ kcal}$

Na prática, nem todo o ferro é oxidado, sendo parte dele (30%) removido pela energia cinética do jato (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

Conforme Senai (2013), na combustão, o oxigênio também pode reagir com não metais, tal como o carbono contido no material, na seguinte reação:



2.2.2.7 Soldagem

“Uma das principais características da atmosfera da Terra é que ela é um ambiente oxidante, um fenômeno que se deve a elevada concentração de oxigênio diatômico, O_2 ” (BAIRD, CANN, 2011, p. 113). “O oxigênio reage facilmente com metais e não metais, originando a oxidação, e com compostos orgânicos, causando a combustão” (SENAI, 2013, p.103).

Nesse sentido, pode-se observar que “a composição química da fração respirável de um aerossol nem sempre é igual àquela do material bruto que o gerou” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 151). “No caso de fumos metálicos, frequentemente o seu processo de geração é acompanhado de reação de oxidação do metal de modo que as partículas presentes são de óxido do metal, os quais são mais solúveis nos fluidos corpóreos que o metal” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 148-149).

Nas operações de soldagem, os fumos são gerados por meio de gases e vapores que se desprendem das peças em fusão e, em contato com o oxigênio do ar, após resfriamento e condensação, oxidam-se rapidamente. Dentre eles, os fumos metálicos são os mais importantes, uma vez que constituem a maior parte dos aerossóis gerados (SENAI, 2013).

“A classificação dos fumos provocados pela soldagem é muito complexa, pois sua quantidade e composição dependem do metal de base que está sendo soldado, do processo e do eletrodo usado” (SENAI, 2013, p. 42).

O óxido de ferro é o componente que participa em maior proporção na composição desses fumos. Dependendo do eletrodo e do método empregado, essa participação pode chegar a 70%; nos casos de eletrodos tipo rutílico com pó de ferro na soldagem pelo processo MAG, a porcentagem de óxido de ferro oscila de 50% a 60% (SENAI, 2013).

O manganês também se reveste de importância por ser um dos componentes mais comuns nos eletrodos e pela patologia que ocasiona, tal como danos ao sistema nervoso central (SENAI, 2013).

Nas operações de soldagem também ocorre desprendimento de gases, cuja natureza depende do processo usado. Os fatores que devem ser levados em consideração são: composição do revestimento ou da alma dos eletrodos; gás protetor usado; ação do arco elétrico formado; radiação ultravioleta sobre os elementos constituintes do ar atmosférico; composição de óleos e graxas que usualmente recobrem os materiais soldados (SENAI, 2013).

Os gases que causam mais efeitos sobre os soldadores são: ozônio, óxido de nitrogênio, dióxido de carbono e monóxido de carbono (SENAI, 2013).

O ozônio obtido nos processos de soldagem resulta da reação fotoquímica causada pela radiação ultravioleta do arco elétrico sobre o oxigênio atmosférico. Os óxidos de nitrogênio, por sua vez, são formados pela oxidação do nitrogênio atmosférico, também pela alta temperatura do arco. Já o dióxido de carbono, é originado pela decomposição do revestimento ou da alma dos eletrodos, e usado como gás de proteção da poça de fusão no processo MAG. Por último, o monóxido de carbono é formado pela decomposição do dióxido de carbono usado no processo MAG (SENAI, 2013).

A composição e quantidade de fumos e gases gerados, também podem ser influenciados pelas seguintes condições: revestimento do material a ser soldado (como eletrodeposição ou galvanização, pintura), o número de operações de soldagem e o volume da área de trabalho, a qualidade e quantidade de ventilação, a posição da cabeça do soldador com relação aos fumos, bem como a presença de contaminantes na atmosfera (como vapores de hidrocarbonetos clorados originados de operações de limpeza ou pintura) (GERDAU, 2008).

Os fenômenos de oxidação dependem basicamente do comprimento do arco e das condições operatórias; sendo que um arco longo com tensão elevada provocará maiores reações de oxidação do que um arco curto (SENAI, 2013).

Processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW)

Como características do processo, têm-se o seguinte:

O processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido, também conhecido como SMAW (Shielded Metal Arc Welding), consiste na abertura e manutenção de um arco elétrico entre o eletrodo revestido e a peça a ser soldada, de modo a fundir simultaneamente o eletrodo e a peça. O metal fundido do eletrodo é transferido para a peça, formando uma poça fundida que é protegida na atmosfera (O_2 e N_2) pelos gases da combustão do revestimento do eletrodo. O metal depositado e as gotas ejetadas do metal fundido recebem uma proteção adicional por meio do banho de escória, a qual é formada pela queima de alguns componentes do revestimento (SENAI, 2013, p. 283).

O equipamento de soldagem por esse processo consta de transformador ou transformador-retificador, cabos, porta-eletrodo e ferramentas (como a picadeira e a escova de aço) (SENAI, 2013). A Figura 13 apresenta esse processo.



Figura 13 – Soldagem pelo processo SMAW

Fonte: WIKIPEDIA. Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Soldagem_a_arco_el%C3%A9trico_com_eletrodo_revestido#/media/File:SMAW.welding.navy.ncs.jpg. Acesso em: 06 jul. 2015.

São utilizados diversos componentes químicos com diferentes funções (elétrica, mecânica e metalúrgica) na composição do revestimento de um eletrodo. O material da alma (núcleo metálico) por sua vez, pode ser da mesma natureza do metal de base (SENAI, 2013).

Os revestimentos são classificados de acordo com o elemento químico de maior teor em sua composição; sendo os seguintes tipos: oxidante, ácido, rutílico, básico e celulósico. O revestimento oxidante constitui-se principalmente de óxido de ferro e manganês. No revestimento ácido, os principais componentes são o óxido de ferro, o manganês e o silício. Os de tipo rutílico, contém grandes quantidades de rutilo (TiO_2 – óxido de titânio). O revestimento básico constitui-se de elevadas quantidades de carbonatos de cálcio ou outro material e fluorita. Por último, têm-se o revestimento celulósico, que possui grandes quantidades de material orgânico, como a celulose (SENAI, 2013).

Para a identificação dos eletrodos revestidos, esta obedece um padrão criado pela American Welding Society (AWS), sendo o mais utilizado no mundo atualmente. As especificações de identificação são numeradas de acordo com o material que se pretende classificar, como por exemplo: aço-carbono (AWS A 5.1), aços de baixa liga (AWS A 5.5), aços inoxidáveis (AWS A 5.4), entre outros (SENAI, 2013). Conforme especificação para soldagem de aços-carbono (AWS A 5.1), utiliza-se para identificação do eletrodo um grupo de quatro algarismos que precedem a letra E, sendo os dois primeiros com valores de 60 ou 70 (AWS, 2004; WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

Como exemplo, pode-se apresentar algumas informações extraídas de FISPQ para três tipos de eletrodos revestidos, utilizados na soldagem de aço-carbono comum (classificação AWS A 5.1). São eles: E6010, E6013 e E7018.

A Tabela 3 a seguir, apresenta os componentes do revestimento para cada tipo de eletrodo:

Tabela 3 – Exemplo SMAW: ingredientes dos revestimentos dos eletrodos

Ingredientes do revestimento	Tipo de eletrodo		
	E6010 (celulósico)	E6013 (rutílico)	E7018 (básico)
Peso em %			
Celulose	20-30	...	...
Fluoretos	1-2	...	15-20
Ferro	20-30	1-2	30-40
Óxido de magnésio	1-2	...	...
Manganês	5-10	5-10	2-5
Silicatos	15-20	10-15	5-10
Óxido de titânio	15-20	>50	5-10
Silicato de alumínio	...	10-15	1-2
Calcário	...	5-10	20-30
Quartzo	...	2-5	1-2
Silício	...	...	2-5

Fonte: adaptado de ESAB, 2008, 2010a, 2010b

Em seguida, na Tabela 4 e Tabela 5 respectivamente são apresentadas informações referentes a composição de fumos e gases gerados no processo. Segundo as FISPQ correspondentes, os elementos químicos presentes nos fumos estão presentes na forma de óxidos; com exceção do flúor (F) que se encontra como fluoreto (ESAB, 2008, 2010a, 2010b). Cabe ressaltar que nos processos de soldagem com os eletrodos E6013 e E7018, o quartzo (sílica cristalina) é convertido em sílica amorfa (ESAB, 2008, 2010a).

Nos três tipos de eletrodos citados como exemplo, a quantidade de fumos gerados varia conforme parâmetros de soldagem e dimensões, mas geralmente não mais que 5 a 15 g / kg de consumível (ESAB, 2008, 2010a, 2010b).

Tabela 4 – Exemplo SMAW: elementos químicos presentes nos compostos gerados nos fumos

Fumos Peso em % menor que	Tipo de eletrodo		
	E6010 (celulósico)	E6013 (rutílico) (2)	E7018 (básico) (2)
Ferro (Fe)	(1)	40	25
Manganês (Mn)	(1)	10	10
Cromo (Cr)	...	0,1	0,1
Chumbo (Pb)	...	0,1	0,1
Cobre (Cu)	...	0,1	0,1
Níquel (Ni)	...	0,1	0,1
Flúor (F)	(1)	...	25
Magnésio (Mg)	(1)	...	...
Sódio (Na)	(1)	...	...
Titânio (Ti)	(1)	...	...
Silício (Si)	(1)	...	...

NOTAS

(1) Porcentagem não informada

(2) A porcentagem de eventuais outros elementos gerados não são descritos nas FISPQ referenciadas

Fonte: adaptado de ESAB, 2008, 2010a, 2010b

Tabela 5 – Exemplo SMAW: gases gerados

Gases	Tipo de eletrodo		
	E6010 (celulósico)	E6013 (rutílico)	E7018 (básico)
Óxidos de carbono	(1)	(1)	(1)
Óxidos de nitrogênio	(1)	(1)	(1)
Ozônio	(1)	(1)	(1)

NOTAS

(1) Porcentagem não informada

Fonte: adaptado de ESAB, 2008, 2010a, 2010b

A Tabela 6 a seguir apresenta os compostos tipicamente produzidos como escória pelos revestimentos dos eletrodos.

Tabela 6 – Exemplo SMAW: componentes da escória gerada

Escória Peso em % menor que	Tipo de eletrodo/		
	E6010 (celulósico) (1)	E6013 (rutílico)	E7018 (básico)
Al ₂ O ₃		5	5
CaO		5	50
SiO ₂		20	20
TiO ₂		55	15
Fe ₂ O ₃		15	10
K ₂ O		5	5
MnO		15	5
F		...	20
Na ₂ O		...	5
MgO		...	2

NOTAS

(1) Componentes não especificados pela FISPQ, sendo apenas citado a presença de óxidos metálicos e fluoretos

Fonte: adaptado de ESAB, 2008, 2010a, 2010b

Processo de soldagem MAG

Os processos MIG/MAG também são conhecidos pela sigla GMAW – Gas Metal Arc Welding (soldagem por arco elétrico com gás de proteção), e possuem a seguinte distinção (SENAI, 2013).

A principal característica dos processos MIG/MAG é a proteção gasosa que envolve a atmosfera adjacente à poça de fusão e que é proporcionada por gases inertes ou mistura deles, no caso do processo MIG, e por gases ativos ou misturas de gases ativos e inertes, no caso do processo MAG. Tais processos são utilizados para unir peças metálicas pelo aquecimento e pela fusão delas a partir de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu [também chamado de arame] e a peça de trabalho (SENAI, 2013, p. 264).

Como equipamento básico desse tipo de soldagem, têm-se: cilindro de gás de proteção, tocha de soldagem, alimentador de eletrodo e sistema de controle (SENAI, 2013). A Figura 14 apresenta esse processo.

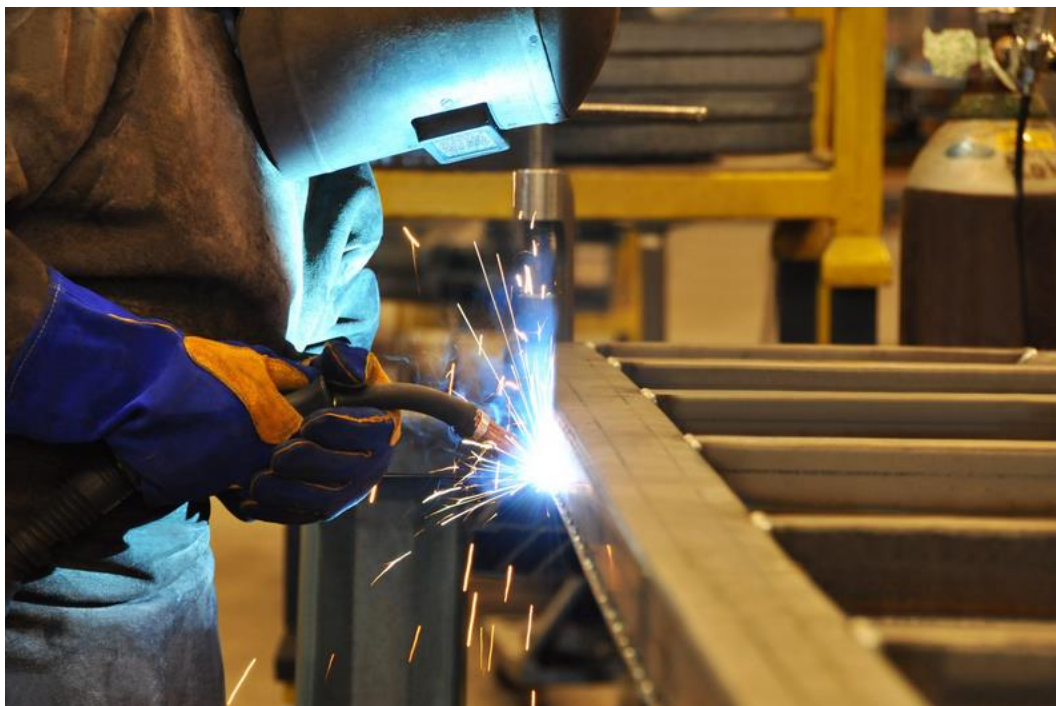


Figura 14 – Soldagem pelo processo GMAW

Fonte: UNYLASER. Disponível em: <http://www.unylaser.com.br/solda-migmag/>. Acesso em: 06 jul. 2015.

O tipo de gás a ser usado depende do material que se quer soldar e de sua espessura. Para aços-carbono comum, emprega-se o processo MAG, podendo-se utilizar basicamente as seguintes proporções de gases: 100% de CO_2 ; 75% de argônio misturado com 25% de CO_2 ; ou 5% a 10% de CO_2 misturados com 85% a 90% de argônio (SENAI, 2013).

Os arames utilizados na soldagem MIG/MAG apresentam-se em bobinas, rolos e carretéis. A composição química desses consumíveis deve ser semelhante à do metal de base, porém quando utilizado o processo MAG na soldagem de aço-carbono, em razão da necessidade de haver um teor mais elevado de desoxidantes (para contrabalançar o efeito oxidante do oxigênio gerado pelo CO_2)⁵², adiciona-se adequadas quantidades de silício e manganês (SENAI, 2013).

⁵² Quando submetido as altas temperaturas do arco elétrico, o CO_2 decompõe-se em CO e O_2 . Devido a atmosfera oxidante, ocorre a formação de FeO que se combina com o carbono existente no aço dando origem ao CO ; que por sua vez, pode ficar preso no metal constituindo-se uma impureza (SENAI, 2013).

As especificações de arames adequados a cada tipo de material a soldar encontram-se em normas da AWS, sendo a norma AWS A 5.18 específica para aço-carbono e aço de baixa liga (SENAI, 2013).

Como exemplo, pode-se apresentar algumas informações extraídas de FISPQ para três tipos de arames sólidos, utilizados na soldagem de aço-carbono comum (classificação AWS A 5.18). São eles: ER70S-2, ER70S-3 e ER70S-5.

A Tabela 7 a seguir, apresenta a composição química aproximada para cada tipo arame:

Tabela 7 – Exemplo GMAW: composição aproximada do eletrodo sólido

Composição aproximada	Tipo de eletrodo sólido (aramé)		
	ER 70S-2	ER 70S-3	ER 70S-6
Peso em %			
Carbono (C)	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Manganês (Mn)	1-2	1-2	1-2
Silício (Si)	0,5	0,5	< 1
Cobre (Cu)	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Titânio (Ti)	< 0,1	...	...
Alumínio (Al)	< 0,1	...	...
Zircônio (Zr)	< 0,1	...	...

Fonte: adaptado de WELDCOTE METALS, 2006

De maneira geral, o processo de soldagem com os eletrodos ER70S-2, ER70S-3 e ER70S-6 origina fumos metálicos constituídos de óxidos dos metais de composição (ferro, manganês, silício e cobre), e gases como, ozônio, óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono (WELDCOTE METALS, 2006).

2.3 EFEITOS SOBRE O ORGANISMO

A grande área superficial dos alvéolos em um indivíduo adulto, a pequena espessura de suas paredes e a enorme quantidade de capilares sanguíneos que os envolvem, são fatores responsáveis pelo sistema respiratório ser a principal via de penetração de substâncias tóxicas no organismo, uma vez que tais substâncias,

presentes nos ambientes, apresentam-se na forma de gases, vapores ou aerodispersóides (TORLONI; VIEIRA, 2003).

De acordo com Torloni e Vieira (2003, p. 71): “o nível de exposição aos agentes químicos no ar pode ser agudo ou crônico”. Segundo os autores, têm-se o seguinte:

A exposição aguda refere-se a uma única exposição ou múltiplas exposições em um período de 24 horas ou menos, a altas concentrações, e as manifestações se desenvolvem rapidamente [...]. A exposição crônica refere-se a exposições repetidas ou contínuas durante longo período de tempo, meses ou anos, muitas vezes durante toda a vida profissional do trabalhador (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 71).

Em relação aos efeitos provocados, “é necessário distinguir efeitos agudos e crônicos de exposição aguda e crônica” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 71). Como efeito entende-se às alterações bioquímicas, morfológicas e/ou fisiológicas, desencadeadas pela exposição à substância química⁵³ (TORLONI; VIEIRA, 2003).

A ação tóxica de uma substância pode apresentar efeitos agudos ou crônicos. Tanto a exposição aguda como os efeitos agudos estão relacionados com curta exposição a altas concentrações, resultando irritação, destruição do tecido, narcose e morte. [...]. Os efeitos crônicos são caracterizados por sintomas ou doenças de longa duração. Provém da exposição continuada durante a jornada de trabalho e o agente químico ou seus metabólitos estão continuamente presentes nos tecidos. Isto pode ocorrer porque o organismo não tem tempo para se recuperar entre os intervalos em que ocorrem as exposições (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 71).

Cabe ressaltar também que, “os sintomas de uma intoxicação aguda e crônica são diferentes para um mesmo agente” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 71). Quanto ao sítio de ação, os efeitos de um agente químico podem ser locais ou sistêmicos”. (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 72). Conforme os autores:

Os efeitos locais ocorrem na superfície de contato entre o organismo e o agente químico. Os agentes irritantes com frequência apresentam efeito local. A maioria das substâncias porém, são absorvidas e distribuídas pelo organismo e agem em local distante da via de entrada, isto é provocando dano sistêmico em tecidos, órgãos-alvo, ou sistemas do corpo, distantes do local de absorção. Para que se dê uma intoxicação sistêmica, é necessário que o agente se introduza no sangue, de onde é transportado até o local em que exercerá sua ação. Posteriormente, será depositado, eliminado ou transformado por reações metabólicas. [...]. São exemplos de alvos: pele, pulmão, sistema nervoso central, sistema imunológico, fígado, rim (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 71).

⁵³ “Nem sempre os efeitos são mensuráveis por escalas de intensidade, pois em determinadas situações apenas se menciona sua presença ou ausência” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 64).

Interações podem ocorrer quando a exposição a dois ou mais agentes químicos resulta em alterações da velocidade de absorção e quantidades absorvidas; podendo levar a diferentes efeitos, tais como: independentes, aditivos, sinérgicos, potenciação, antagonísticos e tolerância (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Efeito independente ocorre quando os agentes químicos têm ações distintas e produzem efeitos diferentes [nesse caso pode-se dizer que não há interação]. Efeito aditivo resulta da ação de dois [ou mais] contaminantes químicos quando presentes concomitantemente, sendo igual a simples soma dos efeitos causados por esses agentes em exposições independentes. Efeito sinérgico é o mais complexo, ocorrendo quando duas [ou mais] substâncias, agindo concomitantemente, mostram um efeito maior que a simples soma dos efeitos observados em exposições distintas. A potenciação tem origem quando um agente em exposição isolada não causa dano, mas quando associado à outra substância torna os efeitos muito mais intensos. O efeito antagonista ocorre quando a exposição a dois [ou mais] contaminantes químicos, simultaneamente, tem menor efeito do que a simples soma dos seus efeitos independentes. Por último, a tolerância ocorre quando a sensibilização, após a exposição a um determinado composto químico ou a uma substância estruturalmente relacionada, é diminuída (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.3.1 Partículas Metálicas e não metálicas

De uma maneira geral, “as doenças pulmonares causadas pelos particulados incluem a fibrose, a bronquite (produção excessiva de muco), a asma (constrição dos dutos bronquiais) e o câncer” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 152). As partículas menores que 5 μm , de maneira fácil, atingem os alvéolos e causam alguns efeitos, sendo o mais simples a deposição sobre o tecido alveolar sem provocar danos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Segundo Torloni e Vieira (2003, p. 157), “alguns particulados PNOS podem provocar depósitos opacos nos pulmões, visíveis no exame de Raios-X, mas não provocam reações nos tecidos, a menos que a exposição seja severa”.

A exposição a poeiras metálicas, pode provocar infecções no trato respiratório superior pela ação física e química direta sobre a mucosa, ou, então, quando o trabalhador apresenta hipersensibilidade nessa zona do trato respiratório (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Para trabalhadores expostos a fumos metálicos, são frequentes a ocorrência de rinite alérgica (TORLONI; VIEIRA, 2003). Conforme Colacioppo apud USP (2013b), em relação aos metais, cada elemento em particular produz diferentes efeitos sistêmicos no organismo humano; os óxidos metálicos, porém, possuem efeitos aditivos a nível pulmonar antes de sua absorção pela corrente sanguínea.

Na exposição excessiva a fumos gerados pelo processo de soldagem, esta causa a “febre do fumo”. Estima-se que entre 30% e 40% de todos os trabalhadores já experimentaram alguma vez esta morbidade, cujos sintomas se assemelham a um resfriado, acrescido de dispnéia, tosse, dores musculares e nas articulações, febre e calafrios, necessitando de um a dois dias para a recuperação. (ELCOSH, 1997 apud LIMA; PEDROZO, 2001b). Conforme Lima e Pedrozo (2001a), a febre dos fumos apresenta também o efeito de sabor metálico na boca.

2.3.1.1 Óxidos de ferro

Os estados de oxidação dos compostos do ferro variam de II a VI; sendo os mais comuns os estados II e III. Compostos de número de oxidação fracionário, como por exemplo o Fe_3O_4 , podem ser considerados como misturas de dois estados de oxidação. Assim, pode-se considerar o Fe_3O_4 como um óxido de ferro (II) - ferro (III), o qual poderia ser escrito como $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (SIENKO, 1977; KROSCWITZ, 1995 apud LIMA; PEDROZO, 2001b). Para poeiras e fumos de óxidos de ferro, o principal composto apresenta-se como Fe_2O_3 (HSDB, 2000 apud LIMA; PEDROZO, 2001b). O Quadro 4 a seguir, apresenta alguns compostos de ferro existente em vários estados de oxidação.

Elemento	Fórmula	Observações
Fe ^{II-}	Fe(CO) ₄ ²⁻	Raro
Fe ^{I-}	Fe ₂ (CO) ₈ ²⁻	Raro
Fe ⁰	Fe(CO) ₅	
Fe ^I	[Fe(NO)(H ₂ O) ₅] ²⁺	Raro
Fe ^{II}	FeO, FeS ₂ (= Fe ^{II} S ₂ ²⁻)	
	Fe(OH) ₂	
	[Fe(H ₂ O) ₆] ²⁺	
	FeF ₂	
	Fe(C ₅ H ₅) ₂	
Fe ^{III}	Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ (= Fe ^{II} O.Fe ^{III} O ₃)	
	FeF ₃ , FeCl ₃ , FeO(OH)	
	[Fe(H ₂ O) ₆] ³⁺	
Fe ^{IV}	Só em complexos	Raro
Fe ^V	FeO ₄ ³⁻	
Fe ^{VI}	FeO ₄ ²⁻	Raro

Quadro 4 – Compostos de ferro em seus vários estados de oxidação
 Fonte: EMSLEY, 1991; KROSCWITZ, 1995 apud LIMA; PEDROZO, 2001b

A evidência de toxicidade na exposição aos óxidos de ferro em seres humanos é controversa. Há muitos estudos relatando alteração no parênquima pulmonar, evidenciada por raios X em mineradores⁵⁴, soldadores, polidores, trabalhadores da fundição e de processos eletrolíticos expostos a poeira ou fumo de óxido de ferro. Alguns desenvolvem pneumoconioses, porém, a maioria desses trabalhadores está exposto a misturas de várias substâncias, incluindo a sílica (LIMA; PEDROZO, 2001b). McLaughlin e NIOSH apud Lima e Pedrozo (2001b), acreditam que a presença de óxido de ferro, na forma de poeira ou fumo, no pulmão desses indivíduos causa uma pigmentação denominada siderose, responsável pelas alterações evidenciadas em raios X. Segundo McLaughlin apud Lima e Pedrozo (2001b, p. 76), “siderose, uma pneumoconiose benigna, não evolui para fibrose, e relata que seriam necessários 6 a 10 anos de exposição a uma concentração aproximada de 15 mg/m³ de poeira de óxido de ferro para essas condições se desenvolverem”.

Ainda de acordo com Stokinger e NIOSH apud Lima e Pedrozo (2001b, p. 76), têm-se que “os óxidos de ferro na forma de poeira e fumo não são carcinogênicos”.

⁵⁴ Nesse caso, denominada “hematita do pulmão do mineiro” (LIMA; PEDROZO, 2001b).

“A deposição de ferro metálico na córnea produz um ‘anel de ferrugem’ de tonalidade marrom-amarelada, frequentemente associado com sensação de irritação, hiperemia e inflamação da conjuntiva” (HSDB, 2000 apud LIMA; PEDROZO, 2001b, p. 77).

2.3.1.2 Óxidos de manganês

O manganês apresenta várias formas e estados de oxidação (0 a +7), sendo que os compostos mais comuns são formados nos estados de oxidação +2, +3 e +7. Trata-se do metal de transição mais abundante após o ferro e o titânio (WHO, 1981 apud MARTINS; LIMA, 2001). O manganês pode formar uma variedade de complexos principalmente no estado +2, tendo nele como principal composto o dióxido de manganês (MnO_2) (WHO, 1981, 1999; BARCELOUX, 1999 apud MARTINS; LIMA, 2001).

De acordo com WHO apud Martins e Lima (2001 p. 61), “[...] poeiras podem conter tanto os óxidos de manganês, como o metal presente nos óxidos de outros elementos, tais como permanganato de potássio, óxido de ferro e manganês e silicato de manganês”.

“A maior parte do Mn está presente, no ambiente ocupacional, na forma de óxidos e os fumos e poeiras parecem estar associados com partículas de diâmetro menor que $5\ \mu\text{m}$ ” (WHO, 1981 apud MARTINS; LIMA, 2001, p. 89).

A seguir, encontram-se discriminados os possíveis efeitos agudos e crônicos da exposição a esse agente.

Efeitos agudos

A toxicidade oral e dérmica do manganês é pouco significativa devido à baixa solubilidade do metal. Estudos sugerem que exposição a altas concentrações ambientais pode originar inflamação nos pulmões (pneumonia química). Alta incidência de pneumonia tem sido associada a concentrações acima de $210\ \text{mg de Mn/m}^3$, no ambiente de trabalho. Posteriormente, os estudos não têm detectado pneumonia em trabalhadores expostos a níveis próximos aos padrões propostos. Efeitos, como tosse seca, náusea, dor de cabeça, fadiga, dispnéia, têm sido observados após exposição a altas concentrações de óxido de manganês (BARCELOUX, 1999 apud MARTINS; LIMA, 2001, p. 71).

Efeitos crônicos

“Os órgãos alvo primários, após exposições crônicas ao Mn e seus compostos, são os pulmões e o cérebro” (MARTINS; LIMA, 2001, p. 71). Conforme os autores:

Nos pulmões, as propriedades inflamatórias do manganês levam ao aparecimento de tosse e bronquite, em trabalhadores expostos a níveis que excedem os padrões. Poeira e fumo não produzem fibrose (MARTINS; LIMA, 2001, p. 72).

No sistema nervoso central, ainda segundo os autores:

Em trabalhadores expostos ao Mn, o manganismo é caracterizado pela deterioração da função neurológica que se inicia com sintomas inespecíficos e sinais neurológicos subclínicos. Estes sintomas incluem anorexia, apatia, artralgias, astenia, dor de cabeça, irritabilidade, letargia e fraqueza nas extremidades. Gradualmente, disfunção do gânglio basal que se caracteriza por tremores, mudança na expressão facial e distúrbios na comunicação. Finalmente, há o desenvolvimento de condições clínicas graves, como o mal de Parkinson, caracterizado por tremores e rigidez muscular, entre outros (MARTINS; LIMA, 2001, p. 72).

Têm sido documentados em indivíduos expostos a inalação crônica de partículas contendo manganês no ambiente ocupacional, as seguintes enfermidades: manganismo, pneumonia mangânica e efeitos no sistema reprodutivo (diminuição da libido, impotência e diminuição da fertilidade) (WHO, 1999 apud MARTINS; LIMA, 2001).

2.3.1.3 Óxidos de cobre

O cobre apresenta quatro estados de oxidação, sendo: metálico (Cu^0), íon cuproso (Cu^+), íon cúprico (Cu^{++}) e íon trivalente (Cu^{+++}). Pode ser encontrado na natureza em vários sais minerais e compostos orgânicos, apresentando-se tanto na forma elementar como metálica (LIMA; PEDROZO, 2001a).

A exposição aguda a poeiras e fumos de cobre podem causar irritação aos olhos, nariz e garganta, provocando tosse, espirros e sangramentos nasais (BARCELOUX, 1999; MEDITEXT, 2000 apud LIMA; PEDROZO, 2001a). A

intoxicação aguda, por sua vez, tem como efeito a erosão do epitélio gastrointestinal associado à necrose centrilobular do fígado e necrose tubular dos rins (BARCELOUX, 1999; WHO, 1998 apud LIMA; PEDROZO, 2001a).

A exposição crônica pode ocasionar um espessamento e esverdeamento da pele, dentes e cabelo. Em relação ao trato respiratório, pode-se observar a irritação das fossas nasais, úlceras e perfuração de septo; além de hepatotoxicidade. Marsh et al. apud Lima e Pedrozo (2001a) confirmaram a associação entre a exposição ocupacional em fundições de cobre e câncer pulmonar, no entanto não identificaram os fatores de risco específicos associados ao aumento da incidência desta patologia nesse grupo de trabalhadores.

2.3.1.4 Óxidos de alumínio

Conforme ACGIH® (2014), entre os efeitos possíveis para o alumínio encontram-se pneumoconiose, irritação do trato respiratório inferior e neurotoxicidade.

2.3.1.5 Sílica cristalina

A exposição ocupacional à sílica cristalina está relacionada ao risco de desenvolvimento de diversas doenças como: silicose e proteinose alveolar; tuberculose; limitação crônica do fluxo aéreo; doenças auto-imunes e câncer de pulmão (ATS1997; ALGRANTI et.al., 2004 apud BON, 2006).

A silicose constitui uma doença pulmonar incurável causada pela inalação, retenção e reação pulmonar às partículas contendo sílica cristalina respirável. É caracterizada pela fibrose do tecido pulmonar, e uma vez iniciada, a doença é irreversível e geralmente progressiva (BON, 2006).

Devido à silicose ser uma doença progressiva, ela predispõe o organismo a uma série de outras doenças secundárias, pulmonares e extrapulmonares, como: tuberculose, enfisema, doenças auto-imunes e câncer (ALGRANTI et al. 2003 apud

BON, 2006). O câncer de pulmão é um dos efeitos da exposição ocupacional a partículas de sílica cristalina. O International Agency for Research on Cancer (IARC) classificou a sílica cristalina sob a forma de quartzo ou cristobalita como uma substância carcinogênica para o ser humano (IARC 1997 apud BON, 2006).

2.3.1.6 Negro de fumo

O negro de fumo [fuligem], assim como também o grafite sintético, inclui-se no grupo das poeiras carbonáceas. Embora o elemento carbono, quando em sua forma pura, não seja tóxico para as células pulmonares de defesa, as substâncias presentes na poeira, caracterizada assim como do tipo mista, são capazes de provocar doenças (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.3.2 Gases, vapores e névoas irritantes

Os gases, vapores e névoas irritantes dão origem a inflamação dos tecidos com os quais entram em contato levando ao edema pulmonar, efusão pleural e reação hiperêmica. A inflamação é resultado de uma resposta fisiológica do tecido e não de uma simples ação corrosiva do agente irritante (USP, 2014b).

Certos agentes irritantes agem principalmente sobre as vias respiratórias superiores causando rinite, faringite e laringite (como por exemplo a amônia). A irritação das vias respiratórias representada também por dor e tosse, funciona como sinal de alarme para prevenir uma exposição excessiva que pode afetar uma grande parte do sistema respiratório. Outros irritantes agem sobre os brônquios produzindo bronquite ou broncopneumonia, tal como o SO₂. Além desses, tem-se aqueles que atuam nos pulmões causando edema, podendo-se citar o fosgênio (COCl₂), NO₂ e o O₃. Esse edema, em geral, manifesta-se de 4 a 24 horas após a exposição (USP, 2014b).

O local de ação dos gases irritantes é determinado principalmente pela solubilidade. Dessa maneira, aqueles que são muito solúveis em água serão rapidamente absorvidos pelas vias respiratórias superiores onde exercerão sua ação irritante. Os gases de baixa solubilidade em água, por sua vez, serão pouco absorvidos pelas vias aéreas superiores e o pulmão será o principal órgão lesado. Também existem gases de solubilidade intermediária, cuja ação se manifesta de forma mais ou menos uniforme através do aparelho respiratório (USP, 2014b).

Além da solubilidade, outros fatores influenciam o sítio e a intensidade da ação desses contaminantes, como por exemplo a concentração⁵⁵ e as propriedades químicas⁵⁶ do agente (USP, 2014b).

Os contaminantes irritantes podem ocasionar uma alteração crônica das vias respiratórias em consequência de uma sequela decorrente de uma exposição aguda ou de uma exposição crônica à baixas concentrações (USP, 2014b).

Os agentes irritantes são divididos em duas categorias: primários e secundários. Os irritantes primários agem no local de contato com o organismo e não exercem ação tóxica sistêmica. Já os irritantes secundários também atuam no local de contato com o organismo, principalmente nas membranas mucosas, no entanto, um efeito sistêmico mais relevante ocorre como resultado da absorção do agente (USP, 2014b).

2.3.2.1 Dióxido de enxofre

Habitualmente, nas condições de exposição ocupacional, onde devem prevalecer baixas concentrações, o dióxido de enxofre (SO₂) não é absorvido significativamente nas vias aéreas superiores (USP, 2014b).

Os produtos de reação de SO₂ no organismo devem merecer atenção, pois podem ser formados o H₂SO₄ e sulfatos de acordo com as condições ambientais. O

⁵⁵ Em elevadas exposições, os irritantes das vias respiratórias superiores podem causar edema pulmonar (USP, 2014b).

⁵⁶ Como exemplo têm-se o ozônio que é um forte oxidante; o dióxido de enxofre em contato com a água pode ser transformado em H₂SO₃, que é bem mais irritante (USP, 2014b).

SO₂ quando inalado pode reagir com a água das vias aéreas dando origem ao ácido sulfuroso que se dissocia no íon bissulfito (HSO₃) (USP, 2014b).

O SO₂ é, com grande probabilidade, o responsável pelo aumento da frequência e/ou severidade de ataques asmáticos; e da prevalência de doença respiratória crônica. A exposição prolongada ao SO₂ eleva a incidência de nasofaringites e de bronquites crônicas (USP, 2014b).

Conforme Cetesb (2014a), os indivíduos asmáticos ou com doenças crônicas de pulmão e coração e as crianças são mais sensíveis aos efeitos do SO₂.

2.3.2.2 Óxidos de nitrogênio

O nitrogênio pode formar diversos óxidos, tais como: N₂O (óxido nitroso), N₂O₂ (peróxido de nitrogênio), NO (óxido nítrico), NO₂ (dióxido de nitrogênio), N₂O₃ (trióxido de nitrogênio), entre outros (USP, 2014b).

Óxido nítrico e dióxido de nitrogênio são os mais abundantes provenientes de atividades antropogênicas, formando-se a partir de processos de combustão em temperaturas elevadas, tendo o NO como predominante (USP, 2014b).

“O óxido nítrico liberado para o ar é gradualmente oxidado a dióxido de nitrogênio, NO₂, em um período de minutos a horas; a velocidade da reação depende da concentração dos gases poluentes. Em conjunto, NO e NO₂ presentes no ar são denominados NO_x, pronunciando-se ‘nox’ ” (BAIRD; CANN, 2011, p. 122).

“O NO₂ é relativamente insolúvel em água. Dessa forma, quando inalado, atinge os alvéolos pulmonares onde se transforma em ácido nitroso (HNO₂) e ácido nítrico (HNO₃) que são irritantes e lesivos para o pulmão” (USP, 2014b, p. 94).

“A exposição à concentrações de 150ppm de NO₂ pode ser fatal; exposições de 50 a 150ppm podem produzir doença pulmonar crônica como bronquiolite obliterante” (USP, 2014b, p. 94).

2.3.2.3 Ozônio

O ozônio é um gás incolor, muito reativo e possui odor característico. Trata-se de um irritante muito severo das mucosas (USP, 2014b).

Muito comum entre soldadores a arco, a exposição repetida a concentrações de 1ppm de ozônio (O_3), pode provocar, fadiga, cefaleias, dificuldades respiratórias e distúrbios funcionais pulmonares. Na soldagem a arco utilizando-se o gás protetor argônio, cerca de 0,2ppm a 0,8ppm de ozônio podem ser produzidos (USP, 2014b).

Conforme Lauwerys e Lavenne apud USP (2014b), existe uma boa relação entre o grau de exposição ao agente e efeitos sobre o organismo, conforme mostra o Quadro 5.

Grau de exposição (em ppm)	Efeitos sobre o organismo
0,05 a 0,10	Irritação do nariz e da garganta
0,3 a 1,0	Diminuição da acuidade visual, cefaléias, dispnéia, tosse, constrição torácica, alterações das provas de função pulmonar
1,5 a 2	Redução da capacidade de saturação da oxiemoglobina e alteração da morfologia dos eritrócitos; perturbação da coordenação; dificuldade de expressão
4 a 5	Edema pulmonar
50	Morte em alguns minutos

Quadro 5 - Grau de exposição ao ozônio e efeitos sobre o organismo
Fonte: LAUWERYS; LAVENNE apud USP, 2014b

2.3.2.4 Flúor

O flúor é um gás amarelo, muito reativo e corrosivo, mesmo à temperatura ambiente. Reage com a água formando o ácido fluorídrico (HF) e, eventualmente, o oxifluoreto (OF_2), o qual constitui um composto ainda mais tóxico do que o flúor (USP, 2014b).

Trata-se de um gás que se caracteriza como forte irritante provocando queimadura química da pele, irritação das mucosas oculares e irritação das vias respiratórias superiores. O íon fluoreto penetra a pele ocasionando a formação de úlceras de difícil tratamento (USP, 2014b).

“A deficiência de flúor resulta em retardo no crescimento e desenvolvimento, enquanto que a ingestão excessiva pode levar à esclerose do esqueleto” (RINGE, 2002 apud MATSUDA, 2010, p. 61).

“A fluorose esquelética é causada pela exposição crônica e excessiva ao flúor [...], uma condição caracterizada pelo surgimento da osteoesclerose, calcificação dos ligamentos, e frequentemente acompanhada pela osteoporose, osteomalácia ou osteopenia” (JOHNSON et al., 2007; EVERETT, 2010 apud MATSUDA, 2010, p. 62). Esta exposição pode ocorrer através da inalação, sendo mais comumente causada por altos níveis de flúor em exposição a chaminés ou pó industrial (MATSUDA, 2010).

A fluorose esquelética possui diversos estágios, sendo os dois primeiros, pré-clínicos, ou seja, o indivíduo não é capaz de sentir os sintomas, apesar dessas alterações já serem uma realidade para ele. No primeiro estágio pré-clínico, anormalidades bioquímicas ocorrem no sangue e na composição dos ossos; no segundo, há alterações histológicas nas biópsias dos ossos (HILEMAN, 1988 apud MATSUDA, 2010).

Cabe ressaltar que são diversos os fatores que podem influenciar o tipo de alteração provocado pela intoxicação com o flúor nos ossos, dentre eles: a natureza, dose e duração da exposição, respostas hormonais, idade, sexo, tipo de osso afetado, herança genética, hábitos nutricionais, etc. (WANG et al., 1994 apud MATSUDA, 2010).

2.3.2.5 Acetona

Considera-se a acetona como um vapor irritante para o trato respiratório superior e para os olhos, podendo inclusive ocasionar efeitos hematológicos e comprometimento do sistema nervoso central (ACGIH®, 2014).

De acordo com Cetesb (2014b), a presença de pequenas quantidades do agente no organismo não é prejudicial, uma vez que o fígado biotransforma a acetona em outras substâncias menos tóxicas.

2.3.2.6 Fluidos de corte

Conforme Sokovic; Mijanovic apud Simião (2011), operadores de máquinas são afetados pelo contato com vários elementos presentes no fluido de corte. Sua saúde pode ser prejudicada pelo contato da pele ou por ingestão de substâncias, e também pela inalação da névoa de óleo e vapores.

Os problemas dermatológicos são os mais encontrados nesses operadores, pois durante a realização da atividade existem muitas oportunidades de contato do fluido de corte com a pele (ocasionando dermatites de contato, ou ocupacionais) (QUEIROZ, 2001 apud TESSARO, 2008).

Os tipos e quantidade dos constituintes químicos dos fluidos sofrem grande variação, podendo conter componentes carcinogênicos, como por exemplo as N-nitrosaminas⁵⁷. Dentre os diferentes tipos de fluido de corte, o que tem se revelado mais agressivo à saúde do operador é o óleo integral⁵⁸; sendo o fluido de corte aquoso o menos agressivo (OLIVEIRA; ALVES, 2007 apud SIMIÃO, 2011).

De acordo com USP (2014b, p. 156): “névoas de óleos de corte podem atingir as conjuntivas e causar conjuntivites irritativas. Podem, ainda, irritar vias aéreas superiores e árvore brônquica causando rinite e asma ocupacional”.

Devem ser tomados cuidados especiais em relação as névoas constituídas por mesclas de óleos minerais, uma vez que contêm substâncias associadas aos mecanismos de desenvolvimento de câncer no pulmão (em geral, frações de HPA) (QUEIROZ, 2001 apud TESSARO, 2008).

⁵⁷ Fluidos que apresentam na sua composição aminas podem reagir com nitratos e nitritos formando as nitrosaminas (relacionadas ao câncer nos rins, fígado e bexiga). Depois dessa comprovação, a maioria dos fornecedores de fluidos de corte retiraram os nitritos e nitratos da composição desses produtos (TESSARO, 2008).

⁵⁸ Óleos minerais de base parafínica e com baixo nível de carbonos aromáticos causam menos danos à saúde do trabalhador (TESSARO, 2008).

Acredita-se que compostos químicos tais como os sulfonatos de benzeno de sódio tetrapropileno e o hidrogênio sulfídrico diminuam a resistência imunológica dos operadores, facilitando o surgimento de infecções respiratórias (QUEIROZ, 2001 apud TESSARO, 2008).

2.3.3 Gases asfixiantes

Gases asfixiantes são classificados de acordo com o seu mecanismo de atuação, podendo dar origem a asfixia simples ou a asfixia bioquímica (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.3.3.1 Monóxido de carbono

“O monóxido de carbono (CO) não afeta os pulmões, mas interfere no transporte de oxigênio até as células das diferentes partes do corpo”, [...] (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 169). Considera-se a exposição ao CO altamente prejudicial à saúde, pois o gás tem afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que o O₂ tem pela mesma. Sendo assim, uma pequena quantidade de CO pode saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobinas, ocasionando a incapacidade de transporte de oxigênio (hipóxia tecidual). Quando isto ocorre, o corpo é levado à hipóxia e instala-se o processo generalizado da falta de O₂, dando origem a tonturas, cefaleias, embaralhamento visual, dentre outras alterações (GUYTON, 1998 apud SILVA, 2012). De acordo com Cetesb (2012b), a exposição ao agente está também associada a prejuízos na acuidade visual, no aprendizado e na capacidade de trabalho.

Conforme Torloni e Vieira (2003), o indivíduo exposto a uma concentração de 200ppm durante três horas de exposição pode apresentar alguns efeitos como ligeira dor de cabeça e desconforto. Para uma concentração entre 2000ppm e 5000ppm durante meia hora pode ocasionar o estado de inconsciência. Já para uma

concentração de 10000ppm pelo tempo de exposição de um minuto apresenta efeito fatal.

2.3.3.2 Dióxido de carbono

O dióxido de carbono constitui-se de um gás fisiologicamente inerte. Trata-se de um asfixiante simples, uma vez que esses agentes diluem o oxigênio do ar, provocando uma atmosfera deficiente de oxigênio (TORLONI; VIEIRA, 2003).

O Quadro 6 a seguir, apresenta os efeitos da asfixia simples em relação a porcentagem de oxigênio (em volume) ao nível do mar.

% O ₂	Efeitos
18	Nível mínimo de oxigênio aceitável pela NR15 - Anexo 11
Entre 18 e 15	Aparecem os primeiros sintomas: diminui a capacidade de realização de trabalhos pesados; diminui a coordenação motora
Entre 15 e 12	Aumenta a respiração; pequena capacidade de julgamento
Entre 12 e 10	Aumenta a respiração; os lábios ficam azulados
Entre 10 e 8	Falha mental; sensação de desmaio; náuseas; vômito; inconsciência
Entre 8 e 6	Fatal em 8 minutos; fatal para 50% das pessoas expostas durante 6 minutos; possível recuperação se a exposição for de 4 a 5 minutos
Entre 6 e 4	Advém o coma em 40 segundos; morte

Quadro 6 - Efeitos da asfixia simples por deficiência de oxigênio no ar
Fonte: TORLONI; VIEIRA, 2003

No entanto, cabe ressaltar que, de acordo com Torloni e Vieira (2003, p. 168), “[...] para haver redução razoável do teor de oxigênio no ar ambiente é necessária a presença de grandes quantidades do gás inerte⁵⁹ [...]”.

A presença simultânea de monóxido de carbono e dióxido de carbono poderão originar efeitos aditivos. O CO₂ de reduzida toxicidade pode ativar o mecanismo de controle respiratório, aumentando o volume total de ar inalado em um dado período. Se esse ar contiver CO, pode haver em consequência, maior absorção deste em relação ao que seria absorvido em uma atmosfera isenta do dióxido (USP, 2013b).

2.3.3.3 Acetileno

Em relação a possíveis efeitos tóxicos gerados, conforme ACGIH® (2014), tem-se que o acetileno é considerado um gás asfixiante simples.

2.3.3.4 Argônio

Segundo ACGIH® (2014), o argônio trata-se de um gás capaz de provocar o efeito de asfixia simples.

⁵⁹ Como exemplo, para atingir-se uma concentração de 12,5% de oxigênio no ar ao nível do mar (situação considerada imediatamente perigosa à vida ou à saúde), a concentração do gás inerte deveria ser de 40,8% (TORLONI; VIEIRA, 2003). Por outro lado, uma concentração de cerca de 14,3% de gás inerte no ar ao nível do mar, reduziria o oxigênio na atmosfera para 18%, configurando assim uma atmosfera praticamente deficiente de oxigênio do ponto de vista legal. Apenas como forma de comparação, de acordo com Senai (2013), o ar atmosférico não poluído apresenta em sua composição aproximadamente 0,03% de CO₂ em volume.

2.4 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

A exposição aos contaminantes químicos ocorre quando o indivíduo é exposto a compostos químicos utilizados como matérias-primas, produtos intermediários ou finais de processos industriais, assim como às impurezas desconhecidas nos produtos ou originadas em reações secundárias, ou na decomposição de substâncias, ou ainda por interações entre os compostos presentes. Pode-se ter também uma exposição imprevista em decorrência de acidentes operacionais ou de processo (como vazamentos) (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Na exposição, tem-se que a superfície externa ou interna do organismo entra em contato com o contaminante (poeiras, névoas, fumos, gases e vapores), sendo influenciada por fatores ambientais (temperatura, luz, umidade, etc.). Nesta fase, deve-se considerar os seguintes fatores: via de introdução; frequência e duração da exposição; propriedades físico-química dos agentes, dose⁶⁰ ou concentração desses agentes e suscetibilidade individual (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Avaliar alguma coisa consiste em medir ou estimar sua grandeza e compará-la com um valor de referência padrão, tido como limite do normal, permitido ou aceitável. Sendo assim, a avaliação da exposição ocupacional pode ser entendida como a medida da concentração de uma dada substância no ar, que representa a exposição do trabalhador, seguida de comparação com um padrão adequado de referência, geralmente o Limite de Exposição Ocupacional (LEO)⁶¹ (USP, 2013b).

⁶⁰ Dose refere-se à quantidade de substância química introduzida por uma das vias de penetração sendo expressa em mg (ou g, ou ml) /kg de massa corpórea. Em toxicologia, quanto maior a dose maior o efeito. Na relação dose-efeito (ou concentração/efeito) em toxicologia, o tempo de exposição ao contaminante é fundamental, pois quanto maior o tempo que o organismo tem contato com a substância, maior será o efeito (assim, efeito = dose, ou concentração do agente no ambiente x tempo). Para casos de substâncias carcinogênicas, no lugar do efeito deve-se entender “probabilidade do efeito” relacionada à dose (ou concentração do agente no ambiente) e ao tempo de exposição (TORLONI; VIEIRA, 2003).

⁶¹ Segundo Della Rosa; Siqueira e Colacioppo apud USP (2013b, p. 350), “estas atividades quando realizadas como parte de um programa, recebem a denominação de monitorização”.

2.4.1 Limites de Exposição Ocupacional

Define-se Limite de Exposição Ocupacional (LEO) da seguinte forma:

“Limites de exposição ocupacional a agentes químicos [...] referem-se às concentrações ambientais que representam a exposição do trabalhador e fornecem-nos os elementos básicos para avaliar a exposição ocupacional e a necessidade ou não da introdução de medidas de controle” (USP, 2013b, p. 310).

Diversas denominações têm sido propostas para o padrão de exposição ocupacional a contaminantes químicos com o objetivo de nomeá-lo de forma a refletir o seu real significado. Muitos desses padrões, embora semelhantes, procuram retratar diferentes pontos de vista (USP, 2013b).

No Brasil utiliza-se a denominação Limite de Tolerância (LT), instituído pela Norma Regulamentadora Nº 15 (NR 15), que trata das “Atividades e Operações Insalubres”. De acordo com a referida norma em seu item 15.1.5, entende-se por LT, “a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral” (BRASIL, 1978, p. 33).

O Anexo Nº 11 da citada norma – “Agentes Químicos Cujas Insalubridade é Caracterizada por Limite de Tolerância e Inspeção no Local de Trabalho”, apresenta no Quadro nº 1 – “Tabela de Limites de Tolerância”, os valores de LTs válidos para absorção por via respiratória, e para jornadas de trabalho de até 48 horas por semana. Segundo esse anexo, será considerado insalubre as atividades e operações nas quais os trabalhadores fiquem expostos a contaminantes, que ultrapassem os LTs constantes desse Quadro (BRASIL, 1978).

Na ausência de valores de LT para uma substância, a Norma Regulamentadora Nº 9 (NR 9) permite a utilização de valores limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH® (BRASIL, 1994a).

Entre os limites de exposição propostos, os que possuem maior nível de aceitação são os da ACGIH®, denominados de TLVs® (Threshold Limit Value – Valores Limites Limiares). A ACGIH® constitui uma associação de profissionais ligados à Saúde Ocupacional, não governamental, que dissemina conhecimentos

dessa área (TORLONI; VIEIRA, 2003). Neste sentido, USP (2013b) ressalta que, os TLVs® constituem a melhor fonte atual para padrões de exposição ocupacional a riscos químicos e físicos, uma vez que reúne todas as informações disponíveis na literatura científica mundial e são revisados anualmente.

Apesar da ACGIH® não ser um órgão americano com poder de legislação e normalização, os valores de TLVs® são de alta credibilidade científica e são utilizados como base em grande número de países (USP, 2013a). Cabe observar que, os valores de LT da NR 15 foram baseados nos valores dos TLVs® correspondente ao ano de 1978, válidos para 40 horas/semana e corrigidos para 48 horas/semana (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Os TLVs® podem ser definidos da seguinte maneira:

Os limites de exposição (TLVs®) referem-se às concentrações das substâncias químicas dispersas no ar e representam condições às quais, acredita-se, que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, dia após dia, durante toda uma vida de trabalho, sem sofrer efeitos adversos à saúde (ACGIH®, 2014, p. 3).

Os valores de TLVs® são especificados em três categorias: Limite de Exposição – Média Ponderada pelo Tempo, denominado TLV-TWA (“Threshold Limit Value – Time Weighted Average”); Limite de Exposição – Exposição de Curta Duração, denominado TLV-STEEL (“Threshold Limit Value – Short Term Exposure Limit”); e Limite de Exposição – Valor Teto, denominado TLV-C (“Threshold Limit Value – Ceiling”) (ACGIH®, 2014).

Em relação ao TLV-TWA, este é definido da seguinte forma:

É a concentração média ponderada no tempo, para uma jornada normal de 8 horas diárias e 40 horas semanais, à qual, acredita-se, que a maioria dos trabalhadores possa estar repetidamente exposta, dia após dia, durante toda a vida de trabalho, sem sofrer efeitos adversos à saúde (ACGIH®, 2014, p. 4).

O conceito de TLV-STEEL é apresentado a seguir:

É um limite de exposição média ponderada em 15 minutos, que não deve ser ultrapassado em nenhum momento da jornada de trabalho, mesmo que a concentração média ponderada (TWA) em 8 horas esteja dentro dos limites de exposição-média ponderada [TLV-TWA] [...]. O TLV-STEEL é a concentração à qual, acredita-se, que os trabalhadores possam estar expostos continuamente por um período curto sem sofrer: 1) irritação; 2) lesão tissular crônica ou irreversível; 3) efeitos tóxicos dose-dependentes; ou 4) narcose em grau suficiente para aumentar a predisposição a acidentes,

impedir autossalvamento ou reduzir significativamente a eficiência no trabalho. [pode ser tanto uma referência de exposição complementar ao TLV-TWA, como uma referência independente] [...]. Exposições acima do TLV-TWA, mas abaixo do TLV-STEL, devem ter duração inferior a 15 minutos, e devem ocorrer não mais que quatro vezes ao dia. Deve existir um intervalo mínimo de 60 minutos, entre as exposições sucessivas nessa faixa (ACGIH®, 2014, p. 5).

Por último têm-se o TLV-C, sendo definido como “[...] a concentração que não deve ser excedida durante nenhum momento da exposição no trabalho” (ACGIH®, 2014, p. 5).

Segundo a publicação da ACGIH® (2014), para a maioria das substâncias, o TLV-TWA sozinho, ou juntamente com o TLV-STEL, podem ser aplicados; em alguns casos, no entanto, somente o TLV-C. Se qualquer um dos tipos de TLVs® é excedido, presume-se haver um risco potencial para aquela substância.

É permitido ainda, conforme ACGIH® (2014), para muitas substâncias que possuem TLV-TWA e não possuem TLV-STEL, digressões acima dos limites de exposição (valores máximos permissíveis). Essas digressões podem ser assim definidas:

As digressões nos níveis de exposição do trabalhador podem exceder três vezes o TLV-TWA, por um período total máximo de 30 minutos, durante toda a jornada de trabalho diária e, em hipótese alguma, podem exceder cinco vezes o TLV-TWA. Deve-se garantir, entretanto, que o TLV-TWA adotado não seja ultrapassado (ACGIH®, 2014, p. 5).

Outro limite de exposição bastante comum refere-se aos indicadores “Imediatamente Perigoso à Vida ou à Saúde” (IPVS), publicados pelo National Institute for Occupation Safety and Health (NIOSH) como “Immediately Dangerous to Life or Health” (IDLH). A concentração IPVS de um contaminante pode ser entendida da seguinte maneira:

Refere-se à exposição respiratória aguda, que supõe uma ameaça direta de morte ou consequências adversas irreversíveis à saúde, instantânea ou retardada, ou exposições agudas aos olhos que impeçam a fuga da atmosfera perigosa. A concentração IDHL é o nível máximo de exposição, durante 30 minutos, na qual um trabalhador pode escapar na eventualidade de o respirador falhar, sem perda de vida ou a ocorrência de efeito irreversível à saúde, imediato ou retardado (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 107).

Essa definição pode também ser aplicada para condições de risco por deficiência de oxigênio. Nesse caso, quando o teor de oxigênio (em volume) no

ambiente estiver abaixo de 12,5% ao nível do mar, ou seja, quando a ppO₂ for inferior a 95 mmHg, a atmosfera é considerada IPVS (ABNT, 1999).

Os limites de exposição são geralmente estabelecidos para o contaminante químico atuando isoladamente no organismo. Quando duas ou mais substâncias agem sobre um mesmo órgão ou sistema do corpo humano, os seus efeitos, podem ser: independentes, aditivos, potencializadores, sinérgicos ou antagônicos. Na ausência de informações em contrário, a interação deve-se considerada do tipo que resulta efeitos aditivos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.4.1.1 Índice de Exposição

Segundo USP (2013b), em virtude de ter-se um LEO diferente para cada substância, uma forma de simplificar a visualização acontece na utilização do Índice de Exposição (IE), que é calculado conforme eq. (1).

$$IE = \frac{C}{LEO} \quad (1)$$

Onde:

IE = Índice de Exposição

C = concentração ou média das concentrações⁶²

LEO = limite de exposição ocupacional

Deve-se ressaltar que a comparação entre os IE para cada substância deve ser feita de acordo com o tipo de efeito para o qual o limite de exposição foi estabelecido (média ponderada pelo tempo, valor teto, etc.) (USP, 2013b).

Sempre que o IE for igual a 1, a exposição estará igualada ao limite, se superior a 1 estará acima do limite. Para casos de exposição simultânea a substâncias de efeito aditivo, basta somar os respectivos IE (USP, 2013b).

⁶² A média das concentrações deve ser calculada apenas quando o número de amostras coletada de um determinado agente químico no ambiente for maior que 1.

2.4.1.2 Nível de Ação

Para a prática da Saúde Ocupacional, existe a necessidade de se definir exposição ocupacional a um agente químico, pois é possível dizer que não há exposição quando a concentração ambiental for praticamente igual a zero, ou ainda quando o contaminante não está presente (USP, 2013b).

De acordo com a NR 9, considera-se Nível de Ação (NA):

[...] o valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições a agentes ambientais ultrapassem os limites de exposição. As ações devem incluir o monitoramento periódico da exposição, a informação aos trabalhadores e o controle médico (BRASIL, 1994a, não paginado).

Conforme a referida NR, para agentes químicos, o NA corresponde as situações que apresentem exposição ocupacional acima da metade dos limites de exposição ocupacional. Nessas situações a norma determina que seja realizado controle sistemático; no entanto, ocorre que esta não fornece maiores detalhes sobre procedimentos para a implantação de monitoramento periódico da exposição (BRASIL, 1994a). De acordo com a norma, o monitoramento é apresentado da seguinte forma:

Para o monitoramento da exposição dos trabalhadores e das medidas de controle, deve ser realizada uma avaliação sistemática e repetitiva da exposição a um dado risco, visando à introdução ou modificação das medidas de controle, sempre que necessário (BRASIL, 1994a, não paginado).

Segundo Leidel apud USP (2013b), o valor denominado Nível de Ação pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA), é assim definido:

O ponto a partir do qual as atividades do padrão proposto devem ser iniciadas, como medidas periódicas da exposição através da monitorização ambiental e biológica e controle médico (LEIDEL, 1977, apud USP, 2013b, p. 331).

Conforme USP (2013b), a monitorização ambiental pode ser entendida de modo semelhante a definição encontrada na NR 9:

Monitorização ambiental é a avaliação sistemática e repetitiva da exposição ocupacional, através da medida da concentração de um dado agente químico, no local de trabalho que represente esta exposição, seguida de comparação com um padrão adequado e visando a introdução ou modificação de medidas de controle sempre que necessárias (USP, 2013b, p. 351).

Em relação a monitorização biológica, esta pode ser definida da seguinte maneira:

Monitorização biológica é a avaliação sistemática e repetitiva da exposição ocupacional através da medida da concentração de um agente químico em um fluido biológico, de seu produto de biotransformação ou de sua ação tóxica, visando a introdução ou modificação de medidas de controle sempre que necessárias (USP, 2013b, p. 351).

No que se refere a implantação de um Programa de Monitorização Ambiental e Biológica, USP (2013b), observa o seguinte:

Idealmente deve-se ter um Programa de Monitorização Ambiental e Biológica com uma série histórica de dados que permitam a qualquer tempo estabelecer, ou refutar o nexo causal, entre a exposição ocupacional e eventual quadro clínico ou reclamação trabalhista, além de possibilitar introduzir medidas de controle, sempre que necessárias (USP, 2013b, p. 350).

Ao avaliar a exposição ocupacional e encontrar-se um valor de concentração de um contaminante químico no ar superior ao NA, o trabalhador em questão deve ser considerado exposto, pois, em virtude da variabilidade das concentrações, há possibilidade de ao menos, 5% de todos valores reais, estarem acima do próprio limite de exposição em um dia não avaliado. Sendo assim, têm-se que $NA = 0,50 \times LEO$ (USP, 2013b).

De maneira geral, este nível é tido por convenção, como 50% do limite de exposição. Mas em trabalhos mais aprofundados, a partir de avaliações ambientais completas, o NA é calculado experimentalmente e é função do desvio padrão geométrico das concentrações. No caso de exposição a fumos metálicos em operações de soldagem, por exemplo, o NA deve ser reduzido para 0,15 do LEO (COLACIOPPO, 1985 apud USP, 2013b).

2.4.1.3 Condições ambientais não usuais

De acordo com ACGIH® (2014), quando os trabalhadores estão expostos a agentes químicos presentes no ar, em locais com temperaturas e pressões substancialmente diferentes de 25°C e 760mmHg, deve-se tomar cuidado ao comparar os resultados da amostragem com os TLVs® aplicáveis. Apenas para aerossóis, a concentração TWA amostrada pode ser diretamente comparada com os respectivos valores de TLVs®. Em relação a gases e vapores, nessa situação, os valores amostrados e respectivos TLVs® podem ser comparados se ambos forem convertidos para unidades de massa por volume⁶³ (mg/m³, por exemplo).

Conforme ACGIH® (2014), os resultados da amostragem feita em condições não usuais não podem ser facilmente comparados com os TLVs® publicados, e deve-se ter extrema cautela se os trabalhadores estiverem expostos a pressões ambientais muito altas ou muito baixas.

2.4.1.4 Jornadas de trabalho não usuais

De acordo com ACGIH® (2014), a aplicação de TLVs® a jornadas de trabalho extremamente diferentes da jornada convencional de 8 horas por dia (40 horas por semana), requer uma avaliação específica. Jornadas semanais curtas podem levar o indivíduo a ter mais de um emprego, talvez com exposições similares, podendo resultar em superexposição (mesmo se nenhuma das exposições separadamente resultar em superexposição).

Ajustes nos valores dos limites de exposição podem ser obtidos por meio da utilização de alguns modelos matemáticos. Dentre esses modelos, destaca-se o de Brief e Scala, que reduz o TLV® proporcionalmente ao aumento do tempo de exposição, ao mesmo tempo em que considera a redução do tempo de recuperação (isto é, tempo de não exposição). O “modelo Brief e Scala” é voltado geralmente para

⁶³ A referida publicação da ACGIH® (2014) fornece as equações que permitem realizar a conversão, bem como os pesos moleculares de cada substância apresentada em sua lista de TLVs®.

aplicação a jornadas de trabalho superiores a 8 horas por dia (40 horas por semana), sendo inadequado para jornadas ou períodos muito curtos de exposição (ACGIH®, 2014).

Conforme Torloni e Vieira (2003) e USP (2013b), a correção do limite de exposição utilizando o “modelo Brief e Scala” pode ser obtida multiplicando-se o valor de TLV-TWA (ou TLV-C) para 40 horas semanais, por um fator de correção; o qual é calculado de acordo com eq. (2).

$$\text{Fator de correção} = \frac{40}{h_s} \times \frac{168-h_s}{128} \quad (2)$$

Onde:

h_s = horas trabalhadas por semana

2.4.2 Reconhecimento do risco

Basicamente, a Higiene Ocupacional visa à prevenção da doença ocupacional através da intervenção no ambiente de trabalho, e se apoia em quatro princípios gerais: antecipação, reconhecimento, avaliação e controle⁶⁴. O objetivo último da Higiene Ocupacional, uma vez que nem sempre se pode eliminar os riscos envolvidos nos processos, é reduzir a exposição média de longo prazo de todos os trabalhadores, a todos os agentes ambientais, a valores abaixo do NA (no entanto, deve-se lembrar que, todas as exposições devam ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequível) (USP, 2013a).

De modo sucinto, têm-se a explicação para cada princípio geral:

Antecipação

Idealmente envolve o trabalho com equipes de projeto, modificações ou ampliações, visando à detecção precoce de fatores de risco que possam surgir em projetos e processos a serem implantados (USP, 2013a).

⁶⁴ Conforme a norma NR 9, o PPRA também se apoia nesses quatro princípios gerais (BRASIL, 1994).

Reconhecimento

Trata-se do conhecimento prévio dos agentes no ambiente de trabalho. As atividades e operações associadas devem ser estudadas a fim de permitir o reconhecimento dos riscos presentes nos processos, operações associadas, materiais, insumos, manutenção, subprodutos, rejeitos, produto final, etc. (USP, 2013a).

Avaliação

Refere-se a emitir um juízo de tolerabilidade sobre uma exposição a um contaminante. Esse juízo é dado pela comparação da informação de exposição ambiental com um critério adequado (genericamente denominado de Limite de Exposição Ocupacional - LEO). Atualmente, a avaliação da exposição ocupacional está inserida dentro de um processo conhecido como Estratégia de Amostragem (USP, 2013a).

Controle

“O controle é o ápice do esforço para atingir um dos objetivos da Higiene Ocupacional que é alcançar um ambiente de trabalho saudável” (TORLONI; VIEIRA, 2003, p. 122). Este pode ser separado em duas classes distintas: medidas relativas ao ambiente e medidas relativas ao trabalhador (USP, 2013a).

2.4.2.1 Identificação do agente

De acordo com USP (2013b), são pontos básicos desta fase de reconhecimento:

- Identificação das substâncias presentes no local de trabalho.

- Conhecimento dos seus produtos de transformação ou degradação gerados no processo produtivo.
- Conhecimento do comportamento das substâncias, após sua liberação no ambiente.
- Conhecimento das propriedades toxicológicas, como por exemplo: vias de penetração; efeitos a curto, médio e longo prazo; toxicidade; efeitos aditivos; LEOs; e interação com outros agentes químicos ou físicos.
- Avaliar o risco de a substância provocar exposição ocupacional significativa.

Para situações de difícil identificação dos agentes químicos presentes, pode-se completar a etapa de reconhecimento já com algumas amostras, geralmente coletadas na pior situação, com o objetivo de se conhecer as substâncias presentes. Esta seria uma Avaliação Preliminar, cujos resultados podem auxiliar a direcionar a estratégia de amostragem para uma avaliação completa da exposição ocupacional (USP, 2013b).

2.4.2.2 Identificação dos locais de trabalho e atividades

O conhecimento de informações relativas ao local e atividades envolvidas destina-se à elaboração de uma estratégia de amostragem. Os dados básicos requeridos estão apresentados a seguir (USP, 2013b).

Área

A área onde se realiza a avaliação deve ser identificada corretamente a fim de futuramente poder-se reavaliar (USP, 2013b).

Número de expostos

Deve-se considerar todos os trabalhadores expostos ao longo do tempo (incluindo os expostos devido à proximidade com local onde se realiza uma atividade

por terceiro). O levantamento de informações relacionados a funções, tarefas, atividades, turnos e horários de trabalho constituem fatores importantes necessários à avaliação (USP, 2013b).

Frequência e duração da exposição

A frequência com que determinada tarefa é executada, ao longo de uma jornada, ou mesmo da semana ou de meses, constitui informação importante a ser considerada (USP, 2013b).

Ritmo de trabalho e produção

A variabilidade no ritmo de trabalho e do tipo de peça ou produto a ser produzido pode interferir ou não na exposição ocupacional (USP, 2013b).

Ventilação e condições climáticas

Algumas atividades são executadas em locais internos providos ou não de ventilação artificial ou controle de umidade. Outras atividades, porém, são realizadas em locais externos, devendo-se sempre verificar as variáveis relacionadas a temperatura, velocidade e direção dos ventos ao longo do dia, bem como sua possível interferência na exposição ocupacional e nas avaliações (no caso de chuva, por exemplo) (USP, 2013b).

2.4.3 Estratégia de amostragem

Levando-se em conta que não se pode (nem é necessário) medir a exposição ocupacional de todos os indivíduos, durante todos os dias de trabalho ao longo de suas vidas, a avaliação e a monitorização ambiental estão necessariamente embasadas em amostragem, que não deve ser confundida com a simples coleta de amostras (COLACIOPPO; GOMES, 1984 apud USP, 2013b).

Entende-se a amostragem, ou estratégia de amostragem como:

[...] o conjunto de procedimentos empregados na estimativa da exposição ocupacional, que permitem obter amostras representativas e resultados com confiabilidade determinada em função da precisão e exatidão das técnicas utilizadas (USP, 2013b, p. 350).

2.4.3.1 Grupo Homogêneo de Risco

Para proceder-se a amostragem, e considerando as informações levantadas na etapa de reconhecimento dos riscos, a população total dos trabalhadores eventualmente expostos deve ser dividida em grupos homogêneos em relação ao risco que se pretende avaliar, caracterizando-se assim o conceito de Grupo Homogêneo de Risco (GHR) (USP, 2013b). Observa-se que outras nomenclaturas também são utilizadas, como por exemplo: Grupo de Exposição Similar, empregado pela American Industrial Hygiene Association (AIHA), e Grupo Homogêneo de Exposição, adotado pelo NIOSH (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Em relação ao GHR, têm-se o seguinte:

Um grupo é homogêneo em relação a um dado risco, quando o avaliador sem auxílio de instrumentos, não pode identificar um funcionário com maior ou menor risco de exposição ocupacional (USP, 2013b, p. 360).

Para o estabelecimento dos GHR, alguns critérios podem ser usados, tais como: espaciais (departamento, setor, seção, unidade industrial, etc.), temporais (turno, turma, dias ou horários, etc.), e funcionais (operadores, supervisores, mecânicos, assistentes, etc.) (USP, 2013b).

Cabe observar que estes critérios, sendo um pouco subjetivos, podem ser mais ou menos exigentes, sendo que quanto mais grupos forem criados, maior será o número total de avaliações a serem feitas (USP, 2013b).

2.4.3.2 Número de indivíduos a serem amostrados

Pode-se, dentro de um GHR, selecionar o indivíduo supostamente mais exposto. Esse indivíduo pode ser escolhido subjetivamente considerando alguns fatores, como: proximidade da fonte de agentes químicos, mobilidade no local de trabalho, exposição a correntes de ar, comportamentos individuais, etc. (TORLONI; VIEIRA, 2003).

No entanto, se no GHR não for possível determinar o indivíduo mais exposto, deverá ser criado um grupo amostral correspondente, constituído por indivíduos escolhidos aleatoriamente. O grupo amostral terá a função de representar o GHR, sendo, porém menor e proporcional em número de funcionários (USP, 2013b).

Para determinar o número de indivíduos do grupo amostral, a técnica mais aceita para se fazer essa escolha é descrita no Manual de Estratégias de Amostragem do NIOSH; o qual fornece tabelas com 90 e 95% de confiança, de que no grupo amostral haverá pelo menos um funcionário que esteja entre os 10% dos indivíduos com mais altos níveis de exposição no GHR. A seguir encontra-se no Quadro 7 os valores a serem seguidos para o estabelecimento do grupo amostral conforme técnica do NIOSH (LEIDEL; BUSCH; LYNCH, 1977 apud USP, 2013b).

Confiança de 90%		Confiança de 95%	
Grupo Homogêneo	Grupo Amostral	Grupo Homogêneo	Grupo Amostral
8	7	12	11
9	8	13-14	12
10	9	15-16	13
11-12	10	17-18	14
13-14	11	19-21	15
15-17	12	22-24	16
18-20	13	25-27	17
21-24	14	28-31	18
25-29	15	32-35	19
30-37	16	36-41	20
38-49	17	42-50	21
50	18	51 e +	29
51 e +	22		

Quadro 7 – Tamanho do grupo amostral com grau de confiança de 90% e 95%
Fonte: LEIDEL; BUSCH; LYNCH, 1977 apud USP, 2013b

Nos GHR com 7 ou menos funcionários, para uma confiança de 90%, e com 11 ou menos funcionários, para uma confiança de 95%, caso não seja possível identificar o indivíduo mais exposto, devem ser avaliados todos do grupo, não havendo amostragem (USP, 2013b).

2.4.4 Coleta de amostras

Para esta fase, o profissional de higiene ocupacional deve utilizar instrumental adequado, podendo contar ainda com o auxílio de um laboratório confiável para a realização de análises quando for necessário. Tendo em vista a necessidade de equipamentos específicos e laboratórios adequados e especializados, o profissional pode optar por contratar uma empresa externa, ou consultoria (USP, 2013b).

Deve-se estar atento ainda para a possibilidade de utilização de equipamentos de coleta em ambientes que possuam características específicas, tais como: campo magnético muito forte, possibilidade de vazamento de inflamáveis, umidade acima de 85%, entre outros. Nesses casos, por exemplo, torna-se necessário a utilização de equipamentos dotados de bateria blindada, ou que não produzam faíscas, ou ainda resistentes a umidade elevada, respectivamente (USP, 2013b).

2.4.4.1 Contato prévio com o laboratório

Para as amostras que serão posteriormente analisadas por um laboratório de higiene ocupacional, a realização de contato prévio com este laboratório se mostra extremamente importante a fim de obter-se auxílio relacionado aos seguintes tópicos: definição do método⁶⁵ a ser empregado na avaliação; indicação de elementos de captação mais adequados à coleta pretendida; fornecimento de instruções para a coleta (por exemplo: tempo mínimo de coleta), condicionamento e transporte de

⁶⁵ Método é o conjunto amplo de todos os procedimentos utilizados na avaliação, tais como técnicas utilizadas para a coleta (por exemplo coleta de gases por adsorção) e análise de amostras (USP, 2013b).

amostras; requerimento de informações necessárias à análise (temperatura e pressão, por exemplo); entre outros (USP, 2013b).

Os critérios recomendados para a escolha do laboratório de higiene ocupacional responsável pela análise de amostras são apresentados a seguir:

O laboratório deve [...] dispor de metodologia validada para as análises, ou seja, utilizar métodos reconhecidos ou recomendados, utilizar padrões certificados, geradores de atmosfera padrão e seguir os protocolos de validação recomendados por entidades reconhecidas, [...], além de seguir ainda programas de controle de qualidade intra e extra-laboratorial o que determina a confiabilidade dos resultados (CHASIN et al., 1994; AZEVEDO; COLACIOPPO, 1986 apud USP, 2013b).

2.4.4.2 Amostras pessoais e em pontos fixos

A coleta de amostras pode ser feita geralmente em três pontos: no ar do recinto, em uma operação específica, ou na zona respiratória do indivíduo. O ponto de coleta é escolhido em função da informação desejada (TORLONI; VIEIRA, 2003), o qual pode estar relacionada tanto as avaliações feitas no funcionário, como as realizadas no posto de trabalho, de modo a verificar a pior situação, por exemplo (USP, 2013b).

Na maioria dos casos, é dada preferência à coleta de amostras pessoais, uma vez que o interesse maior é a proteção do trabalhador eventualmente exposto (USP, 2013b), sendo o local mais frequente na zona respiratória, ou seja, a uma distância de 15 cm a 25 cm do nariz⁶⁶ (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Para coletas em ponto fixo, estas podem ser indicadas nos seguintes casos: quando não se tem uma fonte definida e pontual (por exemplo, em uma área na qual se deseja verificar a extensão da contaminação do ar, oriundo de um local próximo); quando existe uma fonte definida e pontual (por exemplo, em determinada máquina compartilhada por diversos funcionários); ou ainda em casos de modificações de uma medida de controle⁶⁷ (USP, 2013b).

⁶⁶ Em operações de soldagem, a coleta deve ser efetuada dentro da máscara de solda.

⁶⁷ Nesse caso, desde que se possa reproduzir a situação antes e depois da implantação da modificação, obtendo-se resultados realmente comparáveis, tendo como única variável a medida de controle (USP, 2013b).

2.4.4.3 Dias e horários das coletas

A coleta deve ser realizada em determinados dias que representem dias normais de produção e exposição ocupacional (USP, 2013b). Para processos industriais contínuos (com duração de mais de uma jornada), é conveniente proceder a coleta em cada jornada. Dependendo do caso, ainda, em certas regiões que apresentem significativas mudanças de condições climáticas, pode ser necessário coletar amostras no verão e no inverno (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Cabe observar ainda que é recomendado realizar-se, num mesmo grupo homogêneo, pelo menos 3 coletas de amostras (repetidas em 3 dias na mesma situação), para efeito de confiabilidade no resultado e aumento da chance de se encontrar situações de maior exposição (USP, 2013b).

2.4.4.4 Número de amostras e tempo de coleta

O número de amostras a serem coletadas e a duração de cada coleta dependem basicamente de alguns fatores, tais como: propriedades físicas, químicas e toxicológicas da substância que se deseja avaliar; condições de trabalho e ambientais; e métodos e técnicas empregadas. Cabe ressaltar, no entanto, que o tempo de coleta deve ser suficiente para se obter material em quantidade mínima para análise (USP, 2013b).

Em relação a substâncias de efeito imediato e grave por exemplo, há necessidade de monitorização constante, com coletas de curta duração, com poucos segundos de intervalo e sistema de análise instantânea (incluindo alarme que inicie um procedimento de emergência e abandono da área). Para substâncias com efeito de curto prazo, a estratégia pode se dar pela verificação da pior situação, ou seja, deve-se acompanhar as atividades e avaliar somente nos momentos de maior possibilidade de exposição (USP, 2013b).

As amostragens instantâneas (realizadas durante alguns minutos), permitem detectar as concentrações mais altas e mais baixas ao longo da jornada de trabalho.

Nessas amostragens, pode-se calcular a exposição média ponderada, verificar se as digressões (picos) estão situadas dos limites máximos calculados, ou comparar os valores de pico com os TLV-C (TORLONI; VIEIRA, 2003).

As amostragens contínuas são aquelas realizadas por períodos superiores a 30 minutos até a jornada inteira. Estas fornecem a exposição média ponderada das condições existentes, mas não registram variações, nem valores de pico (TORLONI; VIEIRA, 2003). Para substâncias com efeito de longo prazo, a estimativa da média ponderada pelo tempo deve estar embasada preferencialmente em amostras de longa duração (amostragem contínua) (USP, 2013b).

Para uma jornada de 8 horas, uma amostra única de 8 horas fornece diretamente a estimativa da média ponderada pelo tempo naquele período. Caso seja necessário verificar diferenças entre períodos ao longo do dia, por exemplo, um maior número de amostras deve ser coletado (referente a cada período em questão), inclusive podendo-se utilizar amostragens instantâneas na avaliação (USP, 2013b).

Em relação ao horário de almoço, embora considerado de trabalho pela legislação trabalhista, na Higiene Ocupacional é geralmente considerado período de não exposição, não sendo, portanto, avaliado (USP, 2013b).

2.4.5 Instrumentos de medição e monitoramento

Dependendo da forma como um contaminante se encontra na atmosfera, de suas propriedades físicas e químicas, e ainda do tempo necessário de coleta da amostra, diversos instrumentos de medição podem ser utilizados, podendo estes serem divididos em dois grupos: coleta com análise instantânea (amostras em ponto fixo), ou não-instantânea (amostras pessoais) (USP, 2013b).

2.4.5.1 Coleta com análise instantânea

Pode-se detectar a presença ou mesmo estimar a concentração de uma substância no ar por meio da utilização de papéis reativos, tubos detectores colorimétricos ou detectores digitais de gases. A maioria destes instrumentos, porém, aplica-se à medição de gases e vapores (USP, 2013b).

Papéis reativos podem ser empregados de maneira simples apenas para identificação da presença de substâncias no ambiente. Tubos detectores colorimétricos utilizam aproximadamente a mesma técnica de reações coloridas (reações químicas) dos papéis reativos, porém mais elaborados, permitindo estimar a concentração pela intensidade ou tamanho da cor desenvolvida; basicamente são indicados para avaliações de curta duração. Os detectores digitais, por sua vez, podem ser genéricos, apenas detectando a presença de uma substância sem identificá-la, ou mais completos como os cromatógrafos portáteis, capazes de identificar e quantificar um agente químico presente no local; geralmente também são indicados para avaliações de curta duração (USP, 2013b).

2.4.5.2 Coleta com análise não-instantânea

Com a finalidade de aumentar o tempo de coleta e a representatividade da amostra em relação à jornada avaliada, o contaminante coletado pode ser analisado⁶⁸ posteriormente por um laboratório especializado. Para tal, os métodos mais utilizados de coleta são: adsorção, absorção e filtração (USP, 2013b).

De modo sucinto tem-se que: a adsorção consiste na retenção de um gás ou vapor em um sólido (por exemplo, carvão ativo); na absorção o gás ou vapor é retido em um líquido (por exemplo água); e na filtração, ocorre a retenção de material particulado em um filtro (por exemplo filtro membrana de material apropriado) (USP, 2013b).

⁶⁸ A análise realizada pelo laboratório inclui a recuperação, identificação e quantificação dos agentes químicos retidos nos elementos de captação (TORLONI; VIEIRA, 2003).

A avaliação da exposição a agentes químicos por amostradores transportados pelo próprio indivíduo pode ser feita utilizando-se amostradores ativos ou amostradores passivos (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Todos os métodos de coleta empregam amostradores ativos, ou seja, constituem-se de um elemento de captação (carvão ativo, água ou filtro por exemplo) acoplado a uma bomba aspirante, que é geralmente portátil e deve ter sua vazão conhecida e calibrada antes e depois de cada coleta. Apenas no caso particular da adsorção, pode ser utilizado tanto amostradores ativos como passivos (ou dosímetros), sendo este último composto por equipamento de coleta que não utiliza bomba de amostragem (USP, 2013b).

2.4.5.3 Filtração de material particulado

Na avaliação de material particulado, a concentração de agente químicos na zona respiratória do trabalhador pode ser medida utilizando-se amostradores ativos. Estes, basicamente, por meio de uma bomba de amostragem movida por bateria elétrica, obrigam um volume de ar do ambiente a atravessar um filtro com tamanho de poro de modo tal, que permita a captura dessas partículas. Com o aumento da massa do filtro e sabendo-se o volume de ar que passou por ele, é possível, após análise em laboratório, calcular a concentração de partículas no ar. Na etapa de análise das partículas, pode-se também determinar a composição química dos contaminantes presentes (TORLONI; VIEIRA, 2003).

Conforme FUNDACENTRO (2007, p. 15), em sua Norma de Higiene Ocupacional 08 (NHO 08) intitulada “Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho”, têm-se que sistema de coleta é um “sistema composto por bomba de amostragem, dispositivo de coleta e mangueira”.

A bomba de amostragem é definida da seguinte forma:

Instrumento portátil e leve, que forneça 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 com capacidade para mantê-la constante, dentro de um intervalo de $\pm 5\%$, durante o tempo de coleta (FUNDACENTRO, 2007, p. 13).

Na Figura 15 a seguir, são apresentados dois modelos de bombas de amostragem, ambos fabricados por uma mesma empresa.



Figura 15 – Exemplos de bombas de amostragem de ar Gilian

Fonte: SENSIDYNE. Disponível em: <http://www.sensidyne.com/air-sampling-equipment/gilian-air-sampling-pumps/gilair-3-gilair-5-air-sampling-pumps/>. Acesso em: 12 jun. 2015

De acordo com a NHO 08, recomenda-se que as mangueiras utilizadas no sistema de coleta sejam flexíveis, de material plástico (de preferência inerte), e com diâmetro e comprimento adequado (FUNDACENTRO, 2007).

O dispositivo de coleta trata-se de um “conjunto composto por porta-filtro, suporte do filtro, filtro de membrana e, quando necessário, um separador de partículas” (FUNDACENTRO, 2007, p. 13). Este último componente é utilizado quando se pretende separar partículas dentro de uma faixa de tamanhos pré-determinada, tais como: inalável, torácica ou respirável (FUNDACENTRO, 2007).

O porta-filtro é um “componente do dispositivo de coleta que abriga e sustenta o suporte do filtro e o filtro de membrana” (FUNDACENTRO, 2007, p. 15). “A seleção do porta-filtro depende da fração de material particulado a ser coletada, [...]” (FUNDACENTRO, 2007, p. 20).

O suporte do filtro consiste num “disco de celulose, metal ou outro material adequado ao tipo de porta-filtro em uso. Sua função é facilitar a distribuição do fluxo de ar e sustentar o filtro de membrana impedindo que o mesmo se rompa” (FUNDACENTRO, 2007, p. 15-16).

O filtro de membrana, por sua vez, constitui um “filtro de malha rígida, uniforme e contínua, de material polímero, com tamanhos de poro determinados precisamente durante a fabricação” (FUNDACENTRO, 2007, p. 13). “A seleção do filtro de membrana deve atender aos requisitos do método a ser aplicado para a análise do material particulado” (FUNDACENTRO, 2007, p. 20).

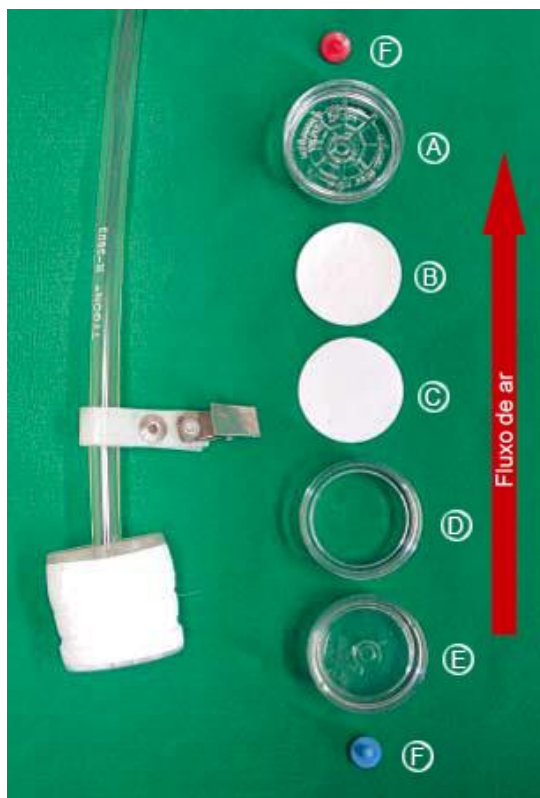
A seguir, encontram-se apresentados dois tipos de dispositivos de coleta (Figura 16 e Figura 17), sendo que num dos exemplos é utilizado um separador de partículas.



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
- H - Parte superior do porta-filtro
- I - Parte superior do separador de partículas
- J - Adaptador para o porta-filtro

Figura 16 – Dispositivo de coleta para particulado respirável
Fonte: FUNDACENTRO, 2007



LEGENDA

- A - Parte inferior do porta-filtro
- B - Suporte do filtro
- C - Filtro de membrana
- D - Parte central do porta-filtro
- E - Parte superior do porta-filtro com orifício de entrada de 4mm
- F - Plugue

Figura 17 – Dispositivo de coleta para particulado total (cassete)
Fonte: FUNDACENTRO, 2007

2.5 MEDIDAS DE CONTROLE

Em relação as medidas de controle, têm-se o seguinte:

A prática tem demonstrado a efetividade de uma série de medidas que, em conjunto ou individualmente, podem ser de serventia na redução dos riscos a que estão expostos os trabalhadores. Podem ser separadas em duas classes distintas: medidas relativas ao ambiente, nas quais o controle dos agentes é feito nas fontes (máquinas, processos, produtos, operações) e na trajetória desses agentes até o trabalhador; e medidas relativas ao trabalhador que é o receptor involuntário desses agentes (USP, 2013a, p. 38).

Dentre as medidas relativas ao ambiente, pode-se citar: substituição do produto tóxico ou nocivo; mudança ou alteração do processo ou operação; encerramento ou enclausuramento da operação; segregação da operação ou processo; ventilação geral diluidora; ventilação local exaustora; manutenção; e ordem e limpeza. Já as medidas

relativas ao trabalhador, estas podem ser: equipamento de proteção individual (EPI); educação e treinamento; controle médico; e limitação da exposição (USP, 2013a).

Uma observação importante, relacionada a medidas de controle em operações de soldagem, faz-se necessária. A Norma Regulamentadora Nº 18 (NR 18), intitulada “Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção” em seu item 18.11.2, apresenta a seguinte restrição:

Quando forem executadas operações de soldagem e corte a quente em chumbo, zinco ou materiais revestidos de cádmio, será obrigatória a remoção por ventilação local exaustora dos fumos originados no processo de solda e corte, bem como na utilização de eletrodos revestidos (BRASIL, 1995, não paginado).

De acordo com a norma NR 9 (BRASIL, 1994a, p. 3), “O estudo, desenvolvimento e implantação de medidas de proteção coletiva deverá obedecer à seguinte hierarquia”:

- a) medidas que eliminam ou reduzam a utilização ou a formação de agentes prejudiciais à saúde;
- b) medidas que previnam a liberação ou disseminação desses agentes no ambiente de trabalho;
- c) medidas que reduzam os níveis ou a concentração desses agentes no ambiente de trabalho (BRASIL, 1994a, não paginado).

Ainda de acordo com a referida norma:

Quando comprovado pelo empregador ou instituição a inviabilidade técnica da adoção de medidas de proteção coletiva ou quando estas não forem suficientes ou encontrarem-se em fase de estudo, planejamento ou implantação, ou ainda em caráter complementar ou emergencial, deverão ser adotadas outras medidas, obedecendo-se à seguinte hierarquia:

- a) medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho;
- b) utilização de equipamento de proteção individual - EPI (BRASIL, 1994a, não paginado).

2.5.1 Programa de Proteção Respiratória

Para os equipamentos de proteção individual (EPI), têm-se que a Norma Regulamentadora Nº 06 (NR 6), intitulada “Equipamento de Proteção Individual – EPI”, apresenta o seguinte:

A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, nas seguintes circunstâncias:

- a) sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais e do trabalho;
- b) enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas;
- e,
- c) para atender a situações de emergência (BRASIL, 2001, não paginado).

De acordo com a norma citada, o fornecimento de EPIs deve atender as peculiaridades de cada atividade profissional (BRASIL, 2001). A norma NR 9, também prevê em seu texto que a seleção de EPIs deve ser adequada tecnicamente ao risco a que o indivíduo está exposto e à atividade exercida (BRASIL, 1994a).

Considerando-se as dúvidas suscitadas em relação à adequada proteção dada aos trabalhadores quando da adoção de equipamentos de proteção respiratória por parte das empresas; e também a necessidade de disciplinar a utilização desses equipamentos dentro de critérios e procedimentos adequados, o MTE publicou a Instrução Normativa nº 1, que “Estabelece o Regulamento Técnico sobre o uso de equipamentos para proteção respiratória” (BRASIL, 1994b).

De maneira resumida, essa Instrução Normativa determina que, quando se fizer necessário a utilização de equipamentos de proteção respiratória, o empregador deverá seguir as recomendações de uma publicação da Fundacentro intitulada “Programa de Proteção Respiratória – recomendações, seleção e uso de respiradores” (também conhecido como PPR-Fundacentro) (BRASIL, 1994b).

O PPR-Fundacentro apresenta um conjunto de medidas práticas e administrativas com o objetivo de, durante o uso de um respirador, alcançar-se o nível de proteção esperado. Pode ser um documento contendo poucas páginas, ou um manual mais encorpado, no entanto, cabe ressaltar que é pouco provável que equipamentos empregados fora das recomendações contidas no PPR-Fundacentro resultem em algum benefício para a saúde (TORLONI; VIEIRA, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a presente monografia, utilizou-se o método de estudo de caso em uma empresa para avaliar-se a exposição ocupacional dos trabalhadores. A empresa escolhida desenvolve atividades de fabricação e montagem de estruturas metálicas voltados para o mercado de construção civil; sendo a etapa de fabricação realizada em uma oficina de pequeno porte própria.

O levantamento de dados ocorreu junto a empresa, e também por meio da literatura técnica. A partir da caracterização da empresa, realizou-se como uma primeira aproximação, a avaliação ambiental sendo de dois tipos: qualitativa e quantitativa. Cabe observar, porém, que apenas as atividades desenvolvidas na oficina de fabricação foram consideradas nessas avaliações.

A caracterização da empresa, corresponde a obtenção de informações gerais sobre o seu funcionamento de modo a permitir a posterior avaliação de riscos ambientais. Foram levantados junto a empresa dados relacionados aos seguintes fatores: locais em que são realizadas as atividades; matérias-primas utilizadas; processo produtivo; frequência de atividades; relação de funcionários empregados e atividades desenvolvidas; e jornada e turnos de trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Fundada em 2004, a empresa objeto deste estudo de caso caracteriza-se por atuar no mercado de construção civil, oferecendo principalmente serviços de gerenciamento e execução de obras em estrutura metálica. Dentre algumas construções executadas, destacam-se: galpões industriais, coberturas metálicas, reforço estrutural, edificações de pequeno porte, etc.

Basicamente, a empresa desenvolve atividades de fabricação dos componentes estruturais em sua oficina e montagem destes componentes no canteiro de obra.

3.1.1 Locais de trabalho

Os principais locais de trabalho da empresa compreendem a oficina de fabricação, o escritório externo e canteiros de obra.

Situada na cidade de São Vicente (SP), a oficina de fabricação possui um total de cerca de 500 metros quadrados e conta com aproximadamente 8 metros de pé-direito no ponto mais alto da cobertura principal original. Esta cobertura foi preservada pela empresa após se estabelecer no local; entretanto, por motivos de segurança, foram construídos fechamentos metálicos em todas as laterais, de forma a unir a cobertura principal aos muros que delimitam o terreno. Cabe ressaltar que nesse espaço não há qualquer tipo de sistema de ventilação artificial instalado. A Figura 18, apresenta a vista interna da oficina.



Figura 18 – Oficina de fabricação da empresa
Fonte: arquivo pessoal, 2015

O escritório externo, constitui-se de uma sala comercial em edifício situado na área urbana da cidade de Santos (SP). Nessa sala, um único funcionário exerce suas atividades relacionadas ao departamento pessoal.

Em relação aos canteiros de obra, estes são variáveis ao longo do tempo conforme a localização da obra a ser executada.

3.1.2 Matérias-primas

A principal matéria-prima utilizada nos processos produtivos constitui-se do aço-carbono comum (ASTM A36), proveniente das indústrias siderúrgicas. Cabe observar que, para as obras executadas pela empresa, estas não requerem perfis de grandes dimensões com elevada massa linear. A seguir, têm-se no Quadro 8 as principais características do material.

	Matéria-prima
Tipo de liga	Liga ferrosa
Tipo de liga ferrosa	Aço
Tipo de aço	Aço estrutural
Tipo de aço estrutural	Aço-carbono
Teor de carbono	Baixo carbono (< 0,29%)
Classificação ASTM	A36 (aço-carbono comum)
Massa linear dos perfis	Inferior a 634 kg/m
Composição química	Maior porcentagem de ferro (F)
	Até 0,26% de carbono (C)
	Até 0,04% de fósforo (P)
	Até 0,05% de enxofre (S)
	Até 0,40% de silício (Si)

Quadro 8 – Características da principal matéria-prima utilizada
Fonte: arquivo pessoal, 2015

Dentre diversos insumos utilizados nas operações de fabricação pela empresa, pode-se citar também: discos de corte; discos de desbaste; brocas; fluido de corte solúvel; eletrodos revestidos; eletrodos sólidos (arame para soldagem MAG), cilindros de gases (oxigênio, acetileno, argônio e dióxido de carbono); pregos e parafusos.

3.1.3 Processo produtivo

Os serviços oferecidos pela empresa estão inseridos em quatro fases distintas: projeto, fabricação, transporte e execução. Empresas contratadas terceirizadas atuam de maneira exclusiva nas fases de projeto e transporte, bem como nas fases de fabricação e execução, por meio de atividades específicas, tais como: dobramento de chapas (calhas), jateamento abrasivo, pintura, galvanização (dependendo da obra) e içamento de peças no canteiro de obra.

A matéria-prima (aço) entra na linha de produção na forma de perfis, cantoneiras, barras redondas e chapas, sendo transformados ao final, em vigas, arcos, pilares, tesouras, terças, suportes, pendurais, agulhas, contraventamentos, tirantes, chumbadores e chapas de base. Atualmente, a fabricação de componentes treliçados responde por boa parcela dos serviços executados.

As principais atividades do processo produtivo são realizadas em apenas dois locais: oficina de fabricação e canteiro de obras. Na oficina são realizadas atividades de corte, dobramento de chumbadores, furação, soldagem e esmerilhamento. No canteiro, por sua vez, tem-se as atividades de corte, soldagem, montagem da estrutura e montagem de fechamentos. A Figura 19 a seguir, apresenta o fluxograma de linha de produção do aço na empresa.

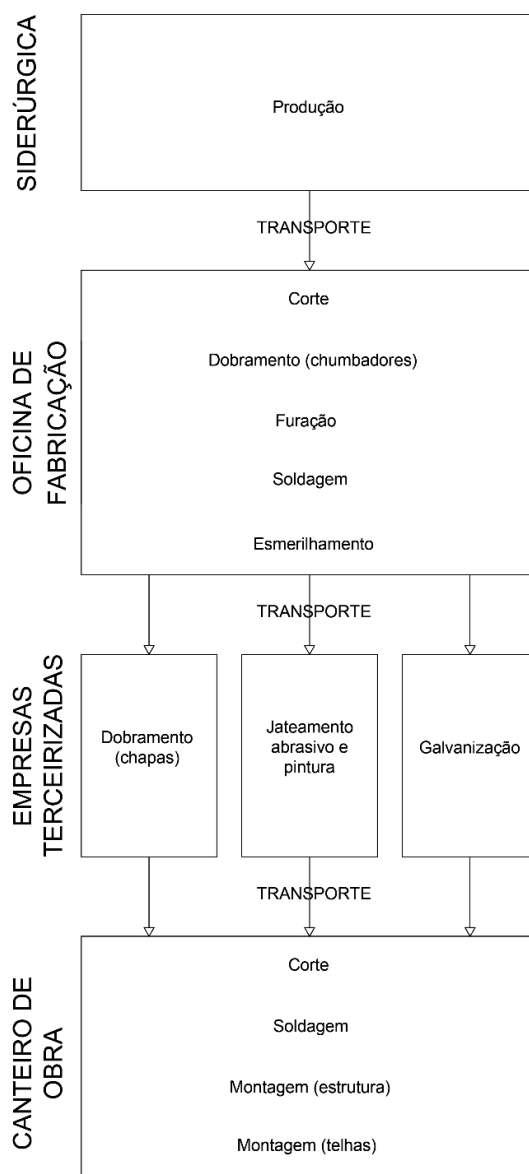


Figura 19 – Fluxograma de linha de produção do aço na empresa
 Fonte: arquivo pessoal, 2015

As operações de corte desenvolvem-se de acordo com a peça a ser usinada. A empresa utiliza serra de corte circular de baixa velocidade para peças de menor espessura e corte a gás (maçarico de corte) para as mais espessas.

O equipamento de corte a gás constitui-se principalmente de maçarico de corte e cilindros de gases como o oxigênio (O_2) e o acetileno (C_2H_2). Este equipamento é usado também no processo de dobramento de barras redondas para fabricação de chumbadores, bem como para eventuais ajustes e adaptações de componentes no canteiro de obra. A operação de corte com serra circular, por sua vez, é realizada

apenas na oficina de fabricação; e uma vez que não utiliza fluido de corte, ocasiona a necessidade frequente de reposição de discos de corte.

No processo de furação, a empresa utiliza uma furadeira de coluna, uma furadeira portátil, outra acoplada a uma base magnética, e brocas fabricadas em aço rápido. Esse processo é o único da linha de produção em que se utiliza fluido de corte, sendo este do tipo à base de água, sintético e sem aditivos. No entanto, cabe frisar que essa operação não ocorre de maneira semelhante às empresas especializadas em usinagem de metais apenas, sendo, portanto, em comparação, de menor intensidade e frequência. A reposição média de brocas ocorre a cada mês, aproximadamente.

Para as atividades de soldagem, são utilizados equipamentos a arco elétrico com eletrodos revestidos e com gás de proteção (MAG). Estas ocorrem tanto na oficina de fabricação, como no canteiro de obra; porém, para o equipamento de soldagem MAG, este é utilizado apenas na oficina.

A empresa faz uso de três tipos de eletrodos, sendo: E6013 e E7018 para a soldagem com eletrodos revestidos; e ER 70S-6 para soldagem do tipo MAG. O eletrodo E6013 é requisitado apenas quando há necessidade de pontear a peça antes da soldagem definitiva. Em relação ao gás de proteção utilizado na soldagem MAG, este é composto pela mistura de dióxido de carbono (21%) e argônio (79%), sendo denominado ATAL 21.

O acabamento das peças cortadas e soldadas, assim como a devida preparação de superfície antes da soldagem, ocorre através da operação de esmerilhamento. A exemplo do corte com serra circular, o esmerilhamento também não utiliza fluido de corte em sua operação, e necessita igualmente de reposição frequente de discos de desbaste.

No canteiro de obras, as principais atividades executadas são a montagem dos componentes da estrutura, e colocação em fechamentos e cobertura de telhas e calhas metálicas; sendo que nessas atividades utiliza-se o pinador pneumático. Quando o projeto especifica ligações parafusadas, os componentes estruturais são montados utilizando-se apenas ferramentas manuais (ferramentas não elétricas ou que não utilizam dispositivos pneumáticos). Dentre os principais equipamentos usados na etapa de montagem, pode-se citar o guindaste veicular, as plataformas elevatórias e os andaimes.

Por último, as atividades de transporte são realizadas pelos próprios fornecedores de matéria-prima (aço), ou por trabalhadores autônomos, utilizando-se caminhões. Na oficina de fabricação, a carga e descarga de caminhões é realizada no espaço interior por meio de um pórtico rolante; no entanto, cabe observar que ao estacionar, o motorista efetua o desligamento do motor.

No Quadro 9 a seguir, tem-se a relação das operações executadas pela empresa e terceirizados, e os respectivos equipamentos e ferramentas utilizados.

Fase	Local	Etapa	Processo	Operação	Equipamentos e ferramentas	
Projeto	Empresa terceirizada	Elaboração de projetos				
Fabricação	Oficina de fabricação	Recebimento/expedição	Carregamento/descarregamento	Carga e descarga de materiais (caminhões)	Pórtico rolante	
		Traçagem	Marcações	Marcações e puncionamento (centro do furo)	Riscador, ponteiro e marreta	
		Preparação-prévia	Corte	Corte com serra	Serra circular de baixa velocidade	
				Corte a gás	Maçarico de corte (gases: O2 e C2H2)	
			Dobramento	Dobramento de chumbadores		Maçarico de corte (gases: O2 e C2H2)
				Furação	Abertura de furos simples e alargamento	
		Furadeira de coluna				
		Pré-montagem	Soldagem	Soldagem com eletrodo revestido E7018	Equipamento de soldagem com eletrodos revestidos	
				Soldagem com eletrodo revestido E6013	Equipamento de soldagem com eletrodos revestidos	
				Soldagem MAG com arame sólido cobreado ER70S-6	Equipamento de soldagem MAG (gases: Ar e CO2)	
	Acabamento	Abrasão	Esmerilhamento	Esmerilhadeira		
	Empresa terceirizada	Preparação-prévia	Dobramento	Dobramento de chapas (calhas)	Dobradeiras	
		Pré-tratamento (superfície)	Jateamento abrasivo	Jateamento com granalhas de aço	Máquina de jateamento (turbinas centrífugas)	
		Tratamento (superfície)	Pintura	Pintura por pulverização sem ar (airless)	Máquina de pintura (airless)	
			Galvanização (após limpeza das peças)	Galvanização por imersão a quente	Tanques de imersão	
Execução	Canteiro de obra	Recebimento/expedição	Carregamento/descarregamento	Carga e descarga de materiais (caminhões)	Guindaste veicular	
		Traçagem	Marcações		Riscador	
		Preparação-prévia	Corte	Corte a gás	Maçarico de corte (gases: O2 e C2H2)	
		Montagem	Soldagem	Soldagem com eletrodo revestido E7018	Equipamento de soldagem com eletrodos revestidos	
				Soldagem com eletrodo revestido E6013	Equipamento de soldagem com eletrodos revestidos	
			Montagem da estrutura	Montagem manual (conexões parafusadas)	Guindaste veicular, andaimes e plataformas elevatórias	
			Montagem de fechamentos	Fixação de telhas	Pinador pneumático, andaimes e plataformas elevatórias	
		Fixação de calhas		Pinador pneumático, andaimes e plataformas elevatórias		

Quadro 9 – Operações executadas pela empresa e terceirizados

Fonte: arquivo pessoal, 2015

3.1.4 Frequência de atividades

O Quadro 10 a seguir, apresenta informações relacionadas a frequência de atividades em função da quantidade de serviço para dias considerados normais de trabalho. Nesse quadro optou-se por utilizar cinco ordens de grandeza: muito baixo; baixo; intermediário; alto; e muito alto.

Fase	Local	Atividades	Frequência
Projeto	Empresa terceirizada	Elaboração de projetos	Baixo
Fabricação	Oficina de fabricação	Carga e descarga de materiais (caminhões)	Baixo
		Marcações e puncionamento (centro do furo)	Intermediário
		Corte com serra	Muito alto
		Corte a gás	Muito alto
		Dobramento de chumbadores	Baixo
		Abertura de furos simples e alargamento	Intermediário
		Soldagem com eletrodo revestido E7018	Muito alto
		Soldagem com eletrodo revestido E6013	Alto
		Soldagem MAG com arame sólido ER70S-6	Intermediário
		Esmerilhamento	Muito alto
	Empresa terceirizada	Dobramento de chapas (calhas)	Intermediário
		Jateamento com granalhas de aço	Alto
		Pintura por pulverização sem ar (airless)	Alto
		Galvanização por imersão a quente	Baixo
Execução	Canteiro de obra	Carga e descarga de materiais (caminhões)	Baixo
		Marcações	Muito baixo
		Corte a gás	Baixo
		Soldagem com eletrodo revestido E7018	Intermediário
		Soldagem com eletrodo revestido E6013	Baixo
		Montagem manual (conexões parafusadas)	Muito alto
		Fixação de telhas	Muito alto
		Fixação de calhas	Alto

Quadro 10 – Frequência de atividades da empresa
Fonte: arquivo pessoal, 2015

As informações levantadas foram obtidas junto a empresa apenas a partir de sua experiência de trabalho, uma vez que esta não possui registros em relação a sua produtividade ao longo do tempo.

3.1.5 Funcionários e funções

Atualmente, a empresa conta com 13 funcionários empregados. O número desses trabalhadores oscila em função de diversos fatores, tais como: quantidade de obras, complexidade envolvida na fabricação, prazos a serem obedecidos, etc. Cabe observar que, eventualmente, a empresa recorre também a contratação de mão-de-obra terceirizada, porém, para este estudo, esse fator não foi considerado. O Quadro 11 a seguir, descreve a relação atual de funcionários empregados, suas respectivas funções, principais atividades desenvolvidas e data de admissão.

	Função	Principais atividades	Data de admissão
Funcionário 01	Supervisor de Montagem	Interpretação de projetos; montagem de cronogramas; acompanhamento de atividades; marcações	02/08/2004
Funcionário 02	Mestre Montador	Interpretação de projetos; montagem de cronogramas; acompanhamento de atividades; marcações	02/08/2004
Funcionário 03	Assistente Técnico de Fabricação	Interpretação de projetos; montagem de cronogramas; acompanhamento de atividades; marcações	06/02/2006
Funcionário 04	Departamento Pessoal	Atividades de escritório	02/08/2004
Funcionário 05	Assistente Administrativo	Transporte	02/08/2004
Funcionário 06	Soldador	Soldagem; carregamento/ descarregamento; corte; dobramento (chumbadores); furação; esmerilhamento; montagem de estrutura e fechamentos no canteiro	02/08/2004
Funcionário 07	Soldador	Soldagem; carregamento/ descarregamento; corte; dobramento (chumbadores); furação; esmerilhamento; montagem de estrutura e fechamentos no canteiro	13/05/2005
Funcionário 08	Montador	Carregamento/ descarregamento; corte; dobramento (chumbadores); furação; esmerilhamento; montagem de estrutura e fechamentos no canteiro	02/04/2007
Funcionário 09	Montador	Carregamento/ descarregamento; corte; dobramento (chumbadores); furação; esmerilhamento; montagem de estrutura e fechamentos no canteiro	03/11/2009
Funcionário 10	Montador	Carregamento/ descarregamento; corte; dobramento (chumbadores); furação; esmerilhamento; montagem de estrutura e fechamentos no canteiro	01/07/2010
Funcionário 11	Montador	Carregamento/ descarregamento; corte; dobramento (chumbadores); furação; esmerilhamento; montagem de estrutura e fechamentos no canteiro	01/04/2015
Funcionário 12	Montador	Carregamento/ descarregamento; corte; dobramento (chumbadores); furação; esmerilhamento; montagem de estrutura e fechamentos no canteiro	01/04/2015

Quadro 11 – Quadro de funcionários da empresa e respectivas atividades
Fonte: arquivo pessoal, 2015

3.1.6 Jornada e turnos de trabalho

A empresa estabelece uma jornada de trabalho semanal de 44 horas, sendo 9 horas diárias de segunda a quinta-feira, e 8 horas por dia as sextas-feiras. Não há

divisão de trabalhos em turnos. Em relação a divisão em turmas específicas, estas ocorrem somente nos canteiros de obra como frentes de trabalho.

3.2 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA

A avaliação qualitativa de riscos químicos se deu apenas no âmbito da oficina de fabricação da empresa, embora as atividades desenvolvidas em canteiro não apresentem diferenças significativas. Em obra, têm-se maior influência principalmente das condições climáticas, das condições do local e de serviços executados por outras empresas.

Quanto ao departamento pessoal localizado em escritório próprio, este não desenvolve atividades de fabricação ou montagem, portanto, em um primeiro momento, inferiu-se que não oferece riscos relacionados a contaminantes presentes no ar ambiente. No entanto, cabe salientar que, tanto para a oficina, como para o escritório externo, não foram avaliadas eventuais influências de agentes externos, existentes na atmosfera ou provenientes de áreas vizinhanças.

Em visita ao local, foi observado a presença de um trabalhador fazendo uso de tabaco nas dependências internas do recinto, no entanto, tal fonte de poluentes não foi considerada nessa avaliação.

Pelo fato de pessoas estarem diariamente trabalhando e transitando sem maiores problemas dentro da oficina, foi descartado a hipótese da existência de uma atmosfera com teor de oxigênio inferior a 18% ao nível do mar (ppO₂ inferior a 136,8 mmHg), ou seja, deficiente de oxigênio do ponto de vista legal. Também não se considerou a possibilidade da presença de contaminantes em concentração IPVS pelo mesmo motivo.

O risco da presença de agentes biológicos foi avaliado com base no Anexo N.º 14 da NR 15, sendo igualmente descartado, uma vez que as atividades desenvolvidas pela empresa não se enquadram na relação apresentada para caracterização de insalubridade do referido anexo.

Na avaliação qualitativa, primeiramente realizou-se o levantamento dos agentes químicos gerados em cada operação; em seguida procedeu-se a estimativa

de exposição para cada funcionário. Ambos os levantamentos se deram com base nos dados apresentados na etapa de caracterização da empresa. Em relação ao levantamento de agentes químicos gerados, este se baseou principalmente nas informações obtidas por meio da revisão da literatura.

A estimativa de exposição foi elaborada a partir do cruzamento de informações relacionadas a funções dos trabalhadores, frequência de atividades, características intrínsecas de cada atividade, agentes químicos gerados e efeitos desses agentes sobre o organismo. Optou-se por utilizar 5 ordens de grandeza numeradas de 1 a 5, sendo 1 correspondente a pouquíssima exposição, e 5 a altíssima exposição. Em relação a toxicidade das substâncias, esta estabeleceu-se em função das seguintes propriedades dos agentes químicos: solubilidade, fibrogenicidade, efeitos sistêmicos e carcinogenicidade⁶⁹. Utilizou-se para toxicidade 3 ordens de grandeza: baixo, médio e alto.

3.3 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

Para a avaliação quantitativa, procedeu-se primeiramente a divisão dos trabalhadores em Grupos Homogêneos de Risco (GHR), com base na estimativa de exposição obtida pela avaliação qualitativa. Em relação a divisão em GHR, esta adotou critérios espaciais e funcionais.

Em seguida realizou-se a coleta e análise de amostras no ambiente de trabalho, sendo contratado um laboratório de higiene ocupacional para realização das análises. Foi estabelecido contato prévio com o laboratório, e este forneceu instruções adequadas e pertinentes relacionados a esses procedimentos.

Como uma primeira aproximação, decidiu-se avaliar a concentração de óxidos de ferro e manganês nas operações de soldagem com eletrodo revestido E7018, e de material particulado inalável nas operações de esmerilhamento.

A coleta se deu na zona respiratória (amostras pessoais) de dois indivíduos, sendo um soldador e um montador, e foi realizada em apenas uma jornada de trabalho

⁶⁹ De acordo com o levantamento realizado, não há substâncias radioativas empregadas no processo produtivo da empresa, portanto, pode-se inferir que não há riscos relacionados a emissões de radiação ionizante.

(um dia), de maneira simultânea nesses funcionários. O dia escolhido para a coleta, tratou-se de um dia considerado normal em relação a produção e exposição ocupacional na empresa. No soldador, a coleta foi efetuada dentro da máscara de solda.

Em função da intenção de comparação dos valores obtidos de concentração com os limites de exposição, realizou-se amostragens contínuas; cobrindo quase toda a jornada de trabalho, para a medição de material particulado, e metade da jornada, para medição de óxidos metálicos. O tempo total de cada coleta durou 7 horas para a operação de esmerilhamento; já para a soldagem, 4 horas e 45 minutos, devido ao fato de não ter havido esse tipo de serviço durante quase todo o período da manhã. Cabe observar também, que as coletas foram interrompidas no horário de almoço, uma vez que esse período não se configura período de exposição na empresa. Em relação as condições meteorológicas ao longo desse dia, registrou-se temperaturas elevadas (entre 27°C e 29°C ao longo do dia) e ausência de precipitação.

O Quadro 12 a seguir, apresenta os dados relacionados ao tempo de coleta das referidas amostras, ao longo da jornada de trabalho.

Dia 12/02/2015 - Quinta-feira		
	Funcionário 06	Funcionário 08
Horário (jornada)	Soldador	Montador
07:30 as 08:00		
08:00 as 08:30		
08:30 as 09:00		
09:00 as 09:30		
09:30 as 10:00		
10:00 as 10:30		
10:30 as 11:00		
11:00 as 11:30		
11:30 as 12:00	Horário de almoço	
12:00 as 12:30		
12:30 as 13:00		
13:00 as 13:30		
13:30 as 14:00		
14:00 as 14:30		
14:30 as 15:00		
15:00 as 15:30		
15:30 as 16:00		
16:00 as 16:30		
16:30 as 17:00		
17:00 as 17:30		

Quadro 12 – Dados relacionados ao tempo da coleta de amostras
Fonte: arquivo pessoal, 2015

3.3.1 Material utilizado

Por meio de amostradores ativos, utilizou-se o método de filtração, para a captura dos agentes químicos avaliados.

Os dispositivos de coleta foram fornecidos pelo próprio laboratório contratado (incluindo os brancos⁷⁰ correspondentes); já as bombas de amostragem (incluindo as mangueiras) foram alugadas (duas no total, da marca Gilian – modelo Gilair 5, devidamente calibradas conforme recomendações do laboratório). Para ambos os métodos de análise, a vazão requerida para as bombas foi de 2 litros por minuto, havendo a necessidade de utilizá-la por no mínimo 4 horas ao longo da jornada de trabalho (totalizando 480 litros de ar aspirado). Para a coleta de material particulado proveniente das atividades de esmerilhamento, não houve necessidade de utilizar-se um separador de partículas (ciclone), visto que se optou por analisar apenas a fração inalável do material (a fração respirável necessita ser separada das partículas maiores).

A Figura 20 a seguir, apresenta o momento da coleta de particulado inalável na operação de esmerilhamento.

⁷⁰ Na aplicação dos métodos analíticos, existem procedimentos para controlar a contaminação das amostras. Para isso, utilizam-se amostradores denominados brancos de campo, que devem ser levados para o local avaliado, abertos e imediatamente fechados, sem que o ar seja bombeado através deles. Esses dispositivos são utilizados para verificar se houve contaminação das amostras durante o processo de avaliação. Outra medida de controle prevista em alguns métodos analíticos é o uso dos brancos de meio. Eles são amostradores do mesmo lote dos utilizados na coleta, mas que não são abertos no ambiente de trabalho. O emprego de brancos de meio é útil especialmente para corrigir eventuais interferências no processo de análise laboratorial (NAVY AND MARINE CORPS PUBLIC HEALTH CENTER, 2009 apud JUNIOR, 2013).



Figura 20 – Coleta de material particulado inalável em operação de esmerilhamento

3.3.2 Comparação e correção de valores

Os resultados obtidos de concentração das substâncias, foram comparados com os Limites de Exposição Ocupacional (LEO) do tipo LT e TLV-TWA. Os valores de TLV-TWA foram corrigidos, para uma jornada de trabalho de 44 horas (correspondente ao modelo adotado pela empresa), utilizando-se o “modelo Brief e Scala”.

Uma vez que o material particulado inalável avaliado corresponde basicamente ao material de origem metálica, ou seja, poeira metálica (aço usinado), e considerando-se que este não possui limite TLV[®] estabelecido, é relativamente insolúvel e possui baixa toxicidade, comparou-se o resultado de sua concentração com as recomendações de limites da ACGIH[®] para partículas PNOS.

Os locais de trabalho da empresa (oficina de fabricação e escritório externo) situam-se ao nível do mar (760mmHg) em condições de clima do tipo Tropical

Atlântico⁷¹, ou seja, situação em que se caracteriza uma condição ambiental usual de temperatura e pressão (apenas ocorrendo amplitude térmica entre estações do ano). Sendo assim, e também porque somente avaliou-se aerossóis, a comparação ocorreu diretamente com os valores de referência.

Em seguida, foram calculados os respectivos Índices de Exposição (IE), e considerados os efeitos aditivos no organismo dos óxidos de ferro e manganês através da soma desses índices.

⁷¹ Os climas do mundo são classificados de forma diferente por diversos autores, dependendo das variáveis ambientais que se deseja analisar. Dentre essas classificações, uma das mais aceitas é a de Köppen (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2006), o qual divide o clima do Brasil em: Tropical, Equatorial, Semi-Árido, Subtropical, Tropical Atlântico e Tropical de Altitude. O clima Tropical Atlântico é característico das regiões litorâneas do Brasil (faixa que compreende desde o estado de Natal até o estado do Paraná), onde as temperaturas médias variam entre 18°C e 26°C, e as chuvas são abundantes, concentrando-se no verão para as regiões mais ao sul e no inverno e outono para regiões mais próximas da linha do Equador. Nesse clima, a amplitude térmica ao longo do ano varia de região para região; ocorrendo mais ao norte baixas amplitudes (estações de inverno e verão semelhantes, diferenciadas apenas pela presença de chuva), e nas regiões mais ao sul, altas amplitudes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Como primeira aproximação, na avaliação qualitativa, procedeu-se primeiramente a identificação dos agentes químicos gerados nos processos de fabricação, em seguida estimou-se a exposição de cada trabalhador a esses agentes.

4.1.1 Contaminantes gerados

O Quadro 13 a seguir, apresenta o levantamento de agentes químicos gerados no ar para cada atividade desenvolvida na oficina de fabricação da empresa.

Operações na oficina	Agentes químicos (via de introdução respiratória)		
	Origem	Classificação	Composição
Carga e descarga de materiais (caminhões)	Redispersão	Poeira	Diversos
	Combustão de motor Diesel	Fumaça (partículas respiráveis)	Fuligem (carbono)
		Fumaça (fase gasosa)	Dióxido de enxofre (SO ₂)
		Fumaça (fase gasosa)	Monóxido de carbono (CO)
		Fumaça (fase vapor e fase líquida)	Hidrocarbonetos
Marcações e puncionamento (centro do furo)	...	...	...
Corte com serra circular	Zona de corte	Poeira	Material usinado (aço ASTM A36)
		Poeira	Óxidos de alumínio
		Poeira	Carbeto de silício
		Poeira	Fibra de vidro
Corte a gás oxiacetilênico	Zona de corte e chama	Fumo	Óxidos de ferro
		Fumo	Óxidos de manganês
		Gás	Dióxido de carbono (CO ₂)
		Gás	Acetileno (C ₂ H ₂)
		Vapor	Acetona (C ₃ H ₆ O)
Dobramento (chumbadores)	Chama	Gás	Dióxido de carbono (CO ₂)
		Gás	Acetileno (C ₂ H ₂)
		Vapor	Acetona (C ₃ H ₆ O)
Furação	Zona de corte	Poeira	Material usinado (aço ASTM A36)
		Poeira	Aço rápido (broca)
		Gás	Hidrocarbonetos insaturados
		Névoa	Fluido de corte
Soldagem com eletrodo revestido E7018	Cordão de solda	Fumo	Óxidos de ferro
		Fumo	Óxidos de manganês
		Gás	Fluoretos
		Gás	Ozônio (O ₃)
		Gás	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)
		Gás	Dióxido de carbono (CO ₂)
		Gás	Monóxido de carbono (CO)
Soldagem com eletrodo revestido E6013	Cordão de solda	Fumo	Óxidos de ferro
		Fumo	Óxidos de manganês
		Gás	Ozônio (O ₃)
		Gás	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)
		Gás	Dióxido de carbono (CO ₂)
		Gás	Monóxido de carbono (CO)
Soldagem MAG com arame sólido ER70S-6	Cordão de solda	Fumo	Óxidos de ferro
		Fumo	Óxidos de manganês
		Fumo	Óxidos de cobre
		Gás	Ozônio (O ₃)
		Gás	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)
		Gás	Dióxido de carbono (CO ₂)
		Gás	Monóxido de carbono (CO)
		Gás	Argônio (Ar)
Esmerilhamento	Zona de abrasão	Poeira	Material usinado (aço ASTM A36)
		Poeira	Óxidos de alumínio
		Poeira	Carbeto de silício
		Poeira	Fibra de vidro

Quadro 13 – Agentes químicos gerados para cada atividade de fabricação
Fonte: arquivo pessoal, 2015

A seguir, o Quadro 14 relaciona os agentes químicos gerados e suas respectivas atividades relacionadas.

Agentes químicos	Atividades relacionadas
Poeira diversas (redispersão)	Carga e descarga de materiais (caminhões)
Fuligem (carbono)	Carga e descarga de materiais (caminhões)
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Carga e descarga de materiais (caminhões)
Hidrocarbonetos	Carga e descarga de materiais (caminhões); furação
Partículas de aço (ASTM A36)	Corte com serra circular; esmerilhamento; furação
Partículas de aço rápido (broca)	Furação
Carbeto de silício	Esmerilhamento; corte com serra circular
Fibra de vidro	Esmerilhamento; corte com serra circular
Óxidos de alumínio	Esmerilhamento; corte com serra circular
Óxidos de ferro	Soldagem com eletrodos revestidos E7018 e E6013; soldagem com arame sólido ER70S-6; corte a gás (oxiacetilênico)
Óxidos de manganês	Soldagem com eletrodos revestidos E7018 e E6013; soldagem com arame sólido ER70S-6; corte a gás (oxiacetilênico)
Óxidos de cobre	Soldagem com arame sólido ER70S-6
Fluoretos	Soldagem com eletrodo revestido E7018
Ozônio (O ₃)	Soldagem com eletrodos revestidos E7018 e E6013; soldagem com arame sólido ER70S-6
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	Soldagem com eletrodos revestidos E7018 e E6013; soldagem com arame sólido ER70S-6
Dióxido de carbono (CO ₂)	Soldagem com eletrodos revestidos E7018 e E6013; soldagem com arame sólido ER70S-6; corte a gás (oxiacetilênico); dobramento (chumbadores)
Monóxido de carbono (CO)	Carga e descarga de materiais (caminhões); soldagem com eletrodos revestidos E7018 e E6013; soldagem com arame sólido ER70S-6
Acetileno (C ₂ H ₂)	Corte a gás (oxiacetilênico); dobramento (chumbadores)
Argônio (Ar)	Soldagem com arame sólido ER70S-6
Acetona (C ₃ H ₆ O)	Corte a gás (oxiacetilênico); dobramento (chumbadores)
Fluído de corte (névoa)	Furação

Quadro 14 – Relação compacta de agentes químicos gerados

Fonte: arquivo pessoal, 2015

Nesta etapa de avaliação, com base no levantamento de agentes químicos gerados, têm-se os seguintes comentários.

Em relação aos fumos metálicos, percebe-se que estes são gerados em grandes quantidades nas operações de soldagem, e em quantidades razoáveis no corte a gás. Isso ocorre devido as altas temperaturas produzidos pelo arco elétrico e pela chama oxiacetilênica.

Os poluentes gerados pelo motor Diesel nas atividades de carregamento/d Descarregamento podem permanecer suspensos no ar principalmente em virtude do tamanho das partículas de fuligem, no entanto estes são emitidos em pequena quantidade devido ao procedimento de desligamento do motor quando o veículo é estacionado no interior da oficina.

A empresa utiliza fluído de corte a base de água sintético. Estes podem gerar névoas e vapores contendo hidrocarbonetos, que por sua vez, são capazes de reagir com outras substâncias presentes no ar, como por exemplo as provenientes de operações de soldagem. Entretanto, cabe ressaltar que o processo de furação na oficina de fabricação da empresa não ocorre de maneira intensa e contínua, sendo de caráter intermitente.

As atividades de esmerilhamento e corte com serra emitem as mesmas substâncias para o ar devido a utilização de discos de mesma composição química e principalmente do material usinado ser o mesmo. Cabe ressaltar que a maior quantidade de poeira gerada nesse processo advém do aço usinado (ASTM A36), sendo relativamente pequena a porcentagem de poeiras fibrogênicas emitidas (óxido de alumínio, carbetto de silício e fibra de vidro).

Para a exposição ocupacional ao acetileno e a acetona, este foi considerado em virtude da liberação desses agentes antes de ocorrer o acendimento da chama.

4.1.2 Estimativa de exposição

Para estimar a exposição dos trabalhadores aos agentes químicos, levou-se em consideração as atividades realizadas por cada um deles na oficina de fabricação e os agentes químicos gerados nessas atividades, bem como a toxicidade potencial para cada substância. O Quadro 15, apresenta essa relação.

	Funcionário 01: Supervisor de Montagem	Funcionário 02: Mestre Montador	Funcionário 03: Assistente Técnico de Fabricação	Funcionário 04: Departamento Pessoal	Funcionário 05: Assistente Administrativo	Funcionário 06: Soldador	Funcionário 07: Soldador	Funcionário 08: Montador	Funcionário 09: Montador	Funcionário 10: Montador	Funcionário 11: Montador	Funcionário 12: Montador	
Agentes químicos													Toxicidade
Poeira diversas (redispersão)	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	Baixa
Fuligem (carbono)	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	Média
Dióxido de enxofre (SO ₂)	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	Média
Hidrocarbonetos	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Partículas (aço ASTM A36)	1	1	1		1	5	5	5	5	5	5	5	Baixa
Aço rápido (broca)	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Carbeto de silício	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Fibra de vidro	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Óxido de alumínio	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Óxidos de ferro	1	1	1		1	5	5	1	1	1	1	1	Baixa
Óxidos de manganês	1	1	1		1	5	5	1	1	1	1	1	Alta
Óxidos de cobre	1	1	1		1	4	4	1	1	1	1	1	Alta
Fluoretos	1	1	1		1	5	5	1	1	1	1	1	Alta
Ozônio (O ₃)	1	1	1		1	5	5	1	1	1	1	1	Alta
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	1	1	1		1	5	5	1	1	1	1	1	Alta
Dióxido de carbono (CO ₂)	1	1	1		1	5	5	2	2	2	2	2	Baixa
Monóxido de carbono (CO)	1	1	1		1	5	5	1	1	1	1	1	Alta
Acetileno (C ₂ H ₂)						1	1	1	1	1	1	1	Baixa
Argônio (Ar)	1	1	1		1	4	4	1	1	1	1	1	Baixa
Acetona (C ₃ H ₆ O)						1	1	1	1	1	1	1	Alta
Fluído de corte (névoa)	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	Baixa

LEGENDA

- 1 – Pouquíssima exposição
- 2 – Pouca exposição
- 3 – Média exposição
- 4 – Alta exposição
- 5 – Altíssima exposição

Quadro 15 – Estimativa de exposição a agentes químicos gerados na oficina de fabricação
 Fonte: arquivo pessoal, 2015

Nesta etapa de avaliação, com base na estimativa de exposição ocupacional, têm-se os seguintes comentários.

Com base na revisão da literatura, para as substâncias muito solúveis, fibrogênicas, carcinogênicas e que apresentem efeitos sistêmicos, considerou-se a toxicidade como sendo alta.

Se enquadram como substâncias muito solúveis, os gases fluoreto, O_3 , NO_x e o vapor de acetona (C_3H_6O). As poeiras fibrogênicas correspondem as substâncias óxidos de alumínio, carbeto de silício, fibra de vidro e aço rápido. Enquadram-se como substâncias com potencial carcinogênico os hidrocarbonetos (provenientes do escapamento de motores Diesel). E por último, as substâncias que apresentam efeitos sistêmicos são: óxido de alumínio, óxido de manganês, óxido de cobre, fluoretos e acetona. O monóxido de carbono também foi considerado como de alta toxicidade devido ao seu efeito de asfixia química.

As características intrínsecas as atividades de corte oxiacetilênico também foram levadas em consideração, visto que se considerou a exposição dos montadores ao acetileno e a acetona menor do que a exposição desses indivíduos ao dióxido de carbono. Isso se deve ao curto período em que o maçarico libera essas substâncias antes do acendimento da chama, em comparação ao período efetivamente considerado de trabalho após o seu o acendimento.

4.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

Primeiramente, para a avaliação quantitativa, procedeu-se a divisão dos trabalhadores em Grupos Homogêneos de Risco (GHR) com base no levantamento da estimativa de exposição qualitativa. Em seguida realizou-se a coleta e análise de amostras para dois funcionários pertencentes a diferentes GHR, com a finalidade de se conhecer a concentração no ambiente das seguintes substâncias: óxidos de ferro; óxidos de manganês; e material particulado total (inalável).

4.2.1 Amostragem

O Quadro 16 a seguir, apresenta a divisão dos trabalhadores em Grupos Homogêneos de Risco (GHR).

	Função	Grupo Homogêneo de Risco (GHR)	Grupo amostral
Funcionário 01	Supervisor de Montagem	1	Sem amostragem
Funcionário 02	Mestre Montador		
Funcionário 03	Assistente Técnico de Fabricação		
Funcionário 05	Assistente Administrativo		
Funcionário 04	Departamento Pessoal	2	
Funcionário 06	Soldador	3	
Funcionário 07	Soldador		
Funcionário 08	Montador	4	
Funcionário 09	Montador		
Funcionário 10	Montador		
Funcionário 11	Montador		
Funcionário 12	Montador		

LEGENDA

- 1 – GHR menos exposto
- 2 – GHR sem exposição significativa
- 3 – GHR mais exposto
- 4 – GHR com exposição mediana

Quadro 16 – Divisão dos funcionários em GHR
Fonte: arquivo pessoal, 2015

Para o estabelecimento dos GHR, em relação ao GHR 1, a exposição ocorre principalmente devido à proximidade destes profissionais com os postos de trabalho nos processos de fabricação. Verifica-se que os piores casos se situam nos GHR 3 (soldadores) e GHR 4 (montadores), sendo os soldadores os indivíduos mais expostos da empresa. No GHR 2, não há exposição significativa a agentes químicos no ar.

Não foi possível determinar o indivíduo mais exposto em cada GHR estabelecido. Todos os indivíduos compartilham o mesmo ambiente de trabalho sem compartimentação, com exceção do responsável pelo departamento administrativo que exerce suas atividades em escritório externo. Também não foram observadas diferenças significativas em relação a proximidade da fonte de agentes químicos,

mobilidade e comportamentos individuais dos funcionários. Cabe salientar também que a empresa não possui qualquer registro de produtividade que pudesse servir como auxílio a essa tarefa.

De acordo com a técnica de amostragem apresentada na revisão da literatura, devido a pequena quantidade de trabalhadores em cada GHR originado, não foi possível estabelecer-se grupos amostrais correspondentes, não havendo, portanto, amostragem.

A coleta de amostras de agentes químicos se deu nos GHR considerados de maior risco de exposição, sendo GHR 3 (soldadores) e GHR 4 (montadores).

4.2.2 Análise de amostras

O formulário do resultado de análise das amostras enviado pelo laboratório contratado encontra-se disponível no Anexo A. Para a exposição a particulados inaláveis o resultado foi de 1,1 mg/ m³. Em relação aos fumos metálicos, obteve-se 0,30 mg/ m³ para exposição ao ferro e 0,054 mg/ m³ para o manganês.

4.2.3 Comparação com os limites de exposição

A Tabela 8 a seguir, apresenta os valores encontrados na avaliação ambiental, juntamente com os respectivos limites de exposição ocupacional (LT da NR 15 e TLV-TWA da ACGIH, 2014).

Tabela 8 – Valores obtidos na avaliação quantitativa e respectivos limites de exposição

Concentrações em mg/ m ³		Limites de exposição ocupacional	
Agentes químicos	Avaliação ambiental	LT da NR 15 (Brasil) - jornada de 48/ semana	TLV-TWA da ACGIH (USA) - jornada de 40h/ semana
Particulado inalável	1,1	...	10
Ferro	0,3	...	5
Manganês	0,054	1	0,1

Fonte: arquivo pessoal, 2015

Para realizar a correção dos valores limites TLV-TWA, de modo a proceder uma comparação mais precisa com a jornada de trabalho adotada pela empresa, foi utilizado o “modelo Brief e Scala”. O valor obtido do fator de correção para jornada de trabalho de 44 horas semanais equivale a aproximadamente 0,88, ou seja, isso significa que os valores de TLV-TWA devem ser reduzidos a 88% dos valores originais. Os referidos limites de exposição corrigidos estão descritos na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Valores obtidos na avaliação quantitativa e respectivos limites de exposição corrigidos

Concentrações em mg/ m ³		Limites de exposição ocupacional	
Agentes químicos	Avaliação ambiental	LT da NR 15 (Brasil) - jornada de 48/ semana	TLV-TWA da ACGIH (USA) - jornada de 44h/ semana
Particulado inalável	1,1	...	8,81
Ferro	0,3	...	4,4
Manganês	0,054	1	0,09

Fonte: arquivo pessoal, 2015

Na sequência, estão apresentados os índices de exposição (IE) para as substâncias avaliadas, adotando-se como LEO os valores corrigidos de TLV-TWA:

Particulado inalável: IE = 0,12
 Ferro: IE = 0,07
 Manganês: IE = 0,6

Considerando os efeitos aditivos dos metais na forma de fumos, temos:

Particulado inalável:	IE = 0,12
Fumos metálicos:	IE = 0,6

Com base nos valores obtidos de IE, percebe-se que as concentrações dos agentes químicos avaliados não ultrapassaram seus respectivos limites de exposição (TLV-TWA corrigidos), no entanto, para os óxidos metálicos (fumos), o Nível de Ação (NA) foi excedido.

5 CONCLUSÕES

Como uma primeira aproximação, o presente trabalho avaliou qualitativamente e quantitativamente (ainda que de forma parcial) a exposição ocupacional a agentes químicos em atividades de fabricação de estruturas metálicas realizadas pela empresa objeto deste estudo de caso.

Com base nas avaliações apresentadas, verificou-se que, de maneira geral, os trabalhadores estão expostos a poeiras metálicas e fumos metálicos, sendo essa exposição ocasionada em virtude da própria realização das atividades em si ou ainda em função da proximidade dos postos de trabalho em um mesmo ambiente.

Os soldadores constituem o grupo de maior risco na empresa, sendo expostos também, a gases como: ozônio, óxidos de nitrogênio, fluoretos, dióxido de carbono e monóxido de carbono. No presente estudo, a avaliação quantitativa não se deu de forma completa, mesmo assim, pode-se presumir a necessidade de utilização de respiradores para os soldadores, uma vez que o Nível de Ação para fumos metálicos foi ultrapassado.

Considerando-se eventuais deficiências que possam ter ocorrido no levantamento bibliográfico, a dificuldade em obter informações detalhadas de poluentes gerados em atividades específicas, e o fato da empresa objeto deste estudo de caso nunca ter realizado avaliações ou monitorizações ambientais de agentes químicos anteriormente, recomenda-se que se faça uma completa avaliação da exposição ocupacional na empresa principalmente no que se refere as atividades de soldagem, inclusive observando os procedimentos de amostragem previstos na literatura, tais como a realização de 3 coletas em dias diferentes, e a repetição do procedimento no verão e no inverno, visto que a amplitude térmica ocorre nessas estações do ano para a localidade em questão. As informações obtidas nessas avaliações, seriam de grande valia para a empresa, uma vez que seu processo produtivo se modifica de forma bastante lenta ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST (ACGIH®). **TLVs® e BEIs® 2014**: limites de exposição ocupacional (TLVs®) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs®). Tradução de Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. São Paulo: ABHO, 2014. 296 p.

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). **AWS A5.1/A5.1M: 2004**: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal ArcWelding. Miami, 2004. 55 p. Disponível em: <http://bjchaozhan.com/admin/uploadpic/201292386584702523.pdf>. Acesso em: 27 maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUIM). **O que é o GHS?** Sistema harmonizado globalmente para a classificação e rotulagem de produtos químicos. São Paulo: ABIQUIM/DETEC, 2005. 69p. Disponível em: http://abiquim.org.br/pdfs/manual_ghs.pdf. Acesso em: 30 jun. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12543**: Equipamentos de proteção respiratória – terminologia. Rio de Janeiro, 1999. 45 p.

_____. **NBR 14725-4**: Produtos químicos — informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Rio de Janeiro, 2014. 25 p.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. Tradução de Marco Tadeu Grassi, Márcia Matiko kondo, Maria Cristina Canela e Felix José Nonnenmacher. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BON, A. M. T. **Exposição ocupacional à sílica e silicose entre trabalhadores de marmorarias, no município de São Paulo**. 2006. 323 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BRASIL. Decreto nº 4.552, de 27 de dezembro de 2002. Aprova o Regulamento da Inspeção do Trabalho. Brasília: Casa Civil, 2002. Não paginado. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4552.htm. Acesso em: 16 maio 2015.

_____. Decreto nº 2.657, de 3 de julho de 1998. Promulga a Convenção nº 170 da OIT, relativa à Segurança na Utilização de Produtos Químicos no Trabalho, assinada em Genebra, em 25 de junho de 1990. Brasília: Casa Civil, 1998. Não paginado.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2657.htm. Acesso em: 30 jun. 2015.

_____. Gabinete do Ministro. [Aprova as normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo. V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho]. Portaria n. 3.214, 08 de junho de 1978. Brasília: MTE, 1978. 96 p. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/legislacao/portaria-n-3-214-de-08-06-1978-1.htm>. Acesso em: 21 maio 2015.

_____. Gabinete do Ministro. [Altera a Norma Regulamentadora n.º 13 - Caldeiras e Vasos de Pressão]. Portaria n. 594, 28 de abril de 2014. Brasília: MTE, 2014. Não paginado. Disponível em: [http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A45B266980145CD35F91A69E4/Portaria%20n.%C2%BA%20594%20\(Nova%20NR-13\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A45B266980145CD35F91A69E4/Portaria%20n.%C2%BA%20594%20(Nova%20NR-13).pdf). Acesso em: 23 maio 2015.

_____. Lei nº 6.514, de 24 de julho de 1977. Altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo a segurança e medicina do trabalho e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 1977. Não paginado. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6514.htm. Acesso em: 21 maio 2015.

_____. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 1991. Não paginado. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8213cons.htm. Acesso em: 16 maio 2015.

_____. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Altera a Norma Regulamentadora que trata de Equipamento de Proteção Individual – NR6 e dá outras providências. Portaria n. 25, 15 de outubro de 2001. Brasília: MTE, 2001. Não paginado. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF454E56574C/p_2001015_25.pdf. Acesso em: 13 jun. 2015.

_____. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Altera a Norma Regulamentadora n.º 26. Portaria n. 229, 24 de maio de 2011. Brasília: MTE, 2011. Não paginado. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D302E6FAC013031C980D74AC9/p_2010524_229.pdf. Acesso em: 30 jun. 2015.

_____. Secretaria de Inspeção do Trabalho. [Relação nominal dos ocupantes do cargo de Auditor-Fiscal do Trabalho em todo o território nacional]. [S.l.:s.n.]. Aviso Nº 01, 23 de janeiro de 2015. Brasília: MTE, 2015. Não paginado. Disponível em <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080814CD7273D014D014B83526FAF/Aviso%2>

OSIT%20-%20Publica%C3%A7%C3%A3o%20de%20AFT%20no%20DOU%20-%20Janeiro%202015.pdf. Acesso em: 16 maio 2015.

_____. Secretaria de Segurança e Medicina no Trabalho. [Aprova o Anexo 14, agentes biológicos da Norma Regulamentadora 15 - NR 15]. Portaria n. 12, 12 de novembro de 1979. Brasília: MTE, 1979. Não paginado. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BE98024D12BE1/p_1979112_12.pdf. Acesso em: 21 maio 2015.

_____. Secretaria Segurança e Saúde no Trabalho. [Aprova o texto da Norma Regulamentadora n.º 9]. Portaria n. 25, 29 de dezembro de 1994. Brasília: MTE, 1994a. Não paginado. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEA44A24704C6/p_19941229_25.pdf. Acesso em: 21 maio 2015.

_____. Secretaria Segurança e Saúde no Trabalho. Estabelece o Regulamento Técnico sobre o uso de equipamentos para proteção respiratória. Instrução Normativa n. 1, 11 de abril de 1994. Brasília: MTE, 1994b. Não paginado. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A2E7311D1012EBAE9534169D8/in_19940411_01.pdf. Acesso em: 13 jun. 2015.

_____. Secretaria Segurança e Saúde no Trabalho. [Aprova o novo texto da Norma Regulamentadora n.º 18 - Obras de Construção, Demolição e Reparos, que passa a ter o seguinte título: NR -18 Condições e Meio Ambiente do Trabalho na Indústria da Construção]. Portaria n. 04, 04 de julho de 1995. Brasília: MTE, 1995. Não paginado. Disponível em: [http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D36A2800001388116DDAC560D/Portaria%20n.%C2%BA%2004%20\(Novo%20texto%20NR-18\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D36A2800001388116DDAC560D/Portaria%20n.%C2%BA%2004%20(Novo%20texto%20NR-18).pdf). Acesso em: 12 jun. 2015.

CELSON, G.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. **Tratamento de superfície e pintura**. Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003. 94 p. (Série Manual de Construção em Aço). Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca.php?codProdCategoria=7>. Acesso em: 20 maio 2015.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA); ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA (ABCEM). **Perfil dos fabricantes de estruturas de aço**: resumo executivo – pesquisa 2014. [S.l.]: CBCA/ABCEM, 2014. 22 p. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>. Acesso em: 20 maio 2015.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA). **Construção em aço:** aços estruturais. Rio de Janeiro: [2014?]. Não paginado. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>. Acesso em: 17 maio 2015.

COELHO, R. S. **Avaliação da toxicidade de fluidos de usinagem através da ecotoxicologia aquática.** 2006. 156 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Ficha de Informação Toxicológica (FIT):** Acetona. [São Paulo]: Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental, 2014b. Não Paginado. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/acetona.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2015.

_____. **Ficha de Informação Toxicológica (FIT):** Diesel. [São Paulo]: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012a. Não Paginado. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/diesel.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2015.

_____. **Ficha de Informação Toxicológica (FIT):** Dióxido de enxofre. [São Paulo]: Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental, 2014a. Não Paginado. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/dioxido_de_enxofre.pdf. Acesso em: 06 jun. 2015.

_____. **Ficha de Informação Toxicológica (FIT):** Monóxido de carbono. [São Paulo]: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012b. Não Paginado. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/monoxido_de_carbono.pdf. Acesso em: 06 jun. 2015.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço:** conceitos, técnicas e linguagem. 7. Ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2009. 299 p.

EMPRESA DE TECNOLOGIA E INFORMAÇÕES DA PREVIDÊNCIA SOCIAL (DATAPREV). **Anuário Estatístico da Previdência Social 2013.** 22. Ed. Brasília: MPS/DATAPREV, 2015. 899 p. Disponível em: <http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2015/03/AEPS-2013-v.-26.02.pdf>. Acesso em: 16 maio 2015.

ESAB INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA (ESAB). **FISPQ'S - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos:** OK 46.00. Contagem, 2008. 4 p. Disponível em: http://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/ok4600_br-2.pdf
Acesso em: 28 maio 2015.

_____. **FISPQ'S - FISPQ'S - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos:** OK 48.04. Contagem, 2010a. 5 p. Disponível em:
http://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/ok4804_br.pdf
Acesso em: 27 maio 2015.

_____. **FISPQ'S - FISPQ'S - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos:** Pipeweld 6010 Plus. Contagem, 2010b. 4 p. Disponível em:
http://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/pipeweld6010plus_br.pdf
f. Acesso em: 28 maio 2015.

FOGO, F. C. **Avaliação e critérios de eficiência nos processos de tratamento de fluido de corte por eletroflotação.** 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

FREITAS, P. S. **Tratamento térmico dos metais:** da teoria à prática. 1. Ed. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014. 200 p. (Coleção Informações Tecnológicas Área Metalurgia).

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO (FUNDACENTRO). **NHO 08:** coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho. São Paulo: Fundacentro, 2007. 42 p. (Normas de Higiene Ocupacional: Procedimento técnico). Disponível em:
<http://www.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 em: 12 jun. 2015.

GERDAU S. A - GERDAU. **FISPQ'S - FISPQ'S - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos:** Arame para solda Gerdau Eletrodo 6010 / 6013 / 7018 e 7018G. São Paulo, 2008. 9 p. Disponível em:
https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAAahUKEwjLiZabyLvGAhXxWowKHRkbC6A&url=http%3A%2F%2Fwww.gerdau.com.br%2Fprodutos-catalogo-e-manuais%2F5085.global.ptBR.force.axd&ei=el17VcvtBPG1sQSZtqyACg&usq=AFQjCNHNanDbdl47NCbJZ7im_VhZzRbKBw. Acesso em: 27 maio 2015.

GOELZER, B. I. F. **Higiene Ocupacional:** importância, reconhecimento e desenvolvimento. São Paulo: 2014. Não paginado. Disponível em:
<http://www.abho.org.br/wp->

content/uploads/2014/02/higieneocupacional_berenice.pdf. Acesso em: 16 maio 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Nota Técnica Nº 04:** a necessidade de auditores fiscais do Trabalho no Brasil: uma análise contemplando o grau de descumprimento da legislação trabalhista. Brasília: IPEA, 2012. 22 p. Disponível em: http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/nota_tecnica/nota_tecnicaxxxxxxx.pdf. Acesso em: 16 maio 2015.

IRWIN® FERRAMENTAS. **Catálogos de Produtos**. [S.l.]. 2014. 232 p. Disponível em: http://www.irwin.com.br/uploads/documents/100_2014-05-01-cat_irwin.pdf. Acesso em: 01 jul. 2015.

JUNIOR, A. L. P. **Particularidades e ineficiências na gestão de riscos químicos em fundições de metais ferrosos no estado de São Paulo e seu impacto na prevenção da ocorrência e do agravamento de danos à saúde do trabalhador**. 2013. 202 p. Dissertação (Mestrado) – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro), São Paulo, 2013.

KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Blucher, 2013. 235 p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/ Procel, 2014. 382 p.

LAPA, R. P.; GOES, M. L. S. **Investigação e análise de incidentes**. 1. Ed. São Paulo: Edicon, 2011. 368 p.

LIMA, I. V.; PEDROZO, M. F. M. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001a. 128 p. (Série Cadernos de Referência Ambiental; v. 2) Disponível em: https://www.google.com.br/search?q=cra+cobre&oq=cra&aqs=chrome.0.69i59j69i57j0l4.611j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=cra+ecotoxicologia+cobre. Acesso em: 02 jun. 2015.

LIMA, I. V.; PEDROZO, M. F. M. **Ecotoxicologia do ferro e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001b. 112 p. (Série Cadernos de Referência Ambiental; v. 4) Disponível em: https://www.google.com.br/?gws_rd=ssl#q=cra+ecotoxicologia+ferro. Acesso em: 02 jun. 2015.

MARINGONI, H. M. **Princípios de arquitetura em aço**. 2. Ed. [S.l.]: Gerdau Açominas, 2004. 67 p. (Coletânea do Uso do Aço 4). Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca.php?codProdCategoria=7>. Acesso em: 19 maio 2015.

MARTINS, I.; LIMA, I. V. **Ecotoxicologia do manganês e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001. 122 p. (Série Cadernos de Referência Ambiental; v. 7) Disponível em https://www.google.com.br/?gws_rd=ssl#q=cra+ecotoxicologia+manganes. Acesso em: 02 jun. 2015.

MATSUDA, S. S. **Efeito diferencial do flúor durante a mineralização de osteoblastos de duas espécies de camundongos com diferentes densidades ósseas**. 2010. 138 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 2010.

MOURÃO, M. B. (Coord.). Introdução a siderurgia. In: MOURÃO, M. B.; GENTILE, E. F. **Visão geral do processo siderúrgico**. 1. Ed. São Paulo: ABM, 2011. p. 1-20 (Coleção Obras de Difusão Metalurgia, Materiais e Mineração).

NÓBREGA, R. P. da. **Investigação de dioxinas, furanos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos no material particulado e gases emitidos por motores Diesel**. 2007. 117 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

_____. **[Sistema de controle da poluição do ar]**. São Paulo: Epusp/PECE, 2013. 81 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia Química, GAH 004 - Sistema de controle da poluição do ar.

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. 3. Ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2003. 271 p.

_____. **Bases para projeto estrutural na arquitetura**. 2. Ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 287 p.

SAINT – GOBAIN ABRASIVOS LTDA. **FISPQ'S - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos: Disco de Corte ou Disco de Desbaste**. Guarulhos, 2011. 10 p. Disponível em: <http://www.ripisoldas.com.br/catalogos/Norton%20-%20FISPQ%20Disco%20de%20corte%20ou%20Desbaste%20Norton.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2015.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE); DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIECONÔMICOS (DIEESE). **Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa 2013**. 6. Ed. Brasília: DIEESE, 2013. 284 p. Disponível em: http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf. Acesso em: 16 maio 2015.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Soldagem**. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2013. 720 p. (Coleção Informações Tecnológicas Área Metalurgia).

SILVA, L. A. da. **Exposição ambiental ao monóxido de carbono e acidentes de trabalho entre mototaxistas**: uma contribuição da enfermagem do trabalho. 2012. 203 p. Tese (Doutorado) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da Produção mais Limpa**. 2011. 170 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TESSARO, E. P. **Avaliação de processos oxidativos para o tratamento ambientalmente adequado de fluidos de corte**. 2008. 96 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

TORLONI, M.; VIEIRA, A. V. **Manual de proteção respiratória**. São Paulo: ABHO, 2003. 518 p.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). **Higiene do trabalho – parte A**. São Paulo: Epusp-EAD/PECE, 2013a. 164 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, eST-103/ STR-103 – Higiene do Trabalho – Parte A.

_____. **Higiene do trabalho – parte B**. São Paulo: Epusp-EAD/PECE, 2013b. 396 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, eST-202/ STR-202 – Higiene do Trabalho – Parte B.

_____. **Higiene do trabalho – parte C.** São Paulo: Epusp-EAD/PECE, 2013c. 324 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, eST-302/ STR-302 – Higiene do Trabalho – Parte C.

_____. **Proteção contra incêndios e explosões parte B.** São Paulo: Epusp-EAD/PECE, 2013d. 135 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, eST-301/ STR-301 – Proteção contra incêndios e explosões: parte B.

_____. **Prevenção e controle de riscos em máquinas, equipamentos e instalações parte A.** São Paulo: Epusp-EAD/PECE, 2014a. 366 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, eST-401 – Prevenção e Controle de Riscos em Máquinas, Equipamentos e Instalações: Parte A.

_____. **O ambiente e as doenças do trabalho.** São Paulo: Epusp-EAD/PECE, 2014b. 344 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, eST-501/ STR-501 – O Ambiente e as Doenças do Trabalho.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. (Coord.). **Soldagem:** processos e metalurgia. São Paulo: Blucher, 1992. 494 p.

WALTER INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **FISPQ'S - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos:** Discos resinóides. São Paulo, 2014. 9 p. Disponível em:
http://www.documents.walter.com/idbDocuments/msds/walter_br/ptb/A-01.pdf.
 Acesso em: 01 jul. 2015.

WALTER, P.; MICHÈLE, P. **Estruturas de aço:** dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 357 p.

WELDCOTE METALS. **MSDS - Material Safety Data Sheet:** Carbon Steel, Solid Wire Electrodes and Rods. Kings Mountain, 2006. 10 p. Disponível em:
<http://www.welldcotemetals.com/dataFiles/msds/msds101.pdf>. Acesso em: 28 maio 2015.

ANEXO A - Resultado de análise das amostras coletadas

1

São Paulo, 27 de fevereiro de 2015

A/C: Sr. FELIPE ULLMANN F. LIMA (1)



Ref.: Resultado de Análise

Seguem em anexo os resultados de análise das amostras ambientais de particulado inalável e metais, respectivamente coletadas em filtros membrana de PVC (5,0 μm) e filtros membrana de éster de celulose (0,8 μm), ambas recebidas no dia 13/02/15.

As amostras de particulado foram analisadas por gravimetria, já os metais foram dosados por espectrometria de emissão a plasma (AES/ICP), sempre conforme técnicas baseadas nos métodos do NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health / USA - métodos 0500 e 7300).

Os resultados obtidos são mostrados na tabela 1 e os vários limites de exposição disponíveis são apresentados a partir da tabela 2. Para qualquer esclarecimento adicional colocamo-nos à disposição.

Atenciosamente



Tabela 1. Resultados obtidos na avaliação ambiental**Empresa:** [REDACTED] (pág. 1/1)

AMOSTRA N°	AGENTE QUÍMICO	CONCENTRAÇÃO (mg/m³)
PVC-2522	Particulado Inalável	1,1
MCE-5759	Ferro	0,30
	Manganês	0,054

OBS.: 1. Resultados corrigidos para 25°C e 760 mmHg.

2. Coleta de amostras realizada pelo interessado. Sendo responsável pelas informações prestadas para classificação dos resultados como Particulado Respirável ou Inalável (total).

[REDACTED]
CRF-SP: [REDACTED]