



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE  
MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**ESTUDO DA INTOXICAÇÃO OCUPACIONAL POR  
CHUMBO E ANÁLISE POR ESPECTROFOTOMETRIA  
DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

**Alessandra Nunes Duarte Miranda**

**Belo Horizonte - MG**

**2013**



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE  
MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**ESTUDO DA INTOXICAÇÃO OCUPACIONAL POR  
CHUMBO E ANÁLISE POR ESPECTROFOTOMETRIA  
DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

**Alessandra Nunes Duarte Miranda**

Monografia apresentada ao Curso de  
Química Tecnológica do CEFET-MG como  
parte das exigências da disciplina Trabalho  
de Conclusão de Curso II (TCC II).

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. MSc. Janice Cardoso  
Pereira Rocha

**Banca Examinadora:**

**Prof<sup>a</sup>. MSc. Janice Cardoso Pereira Rocha (orientadora)**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Clausymara Lara Sangiorge**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Luzia Sergina de França Neta**

**Monografia aprovada em 03 de setembro de 2013.**

**Belo Horizonte - MG**

**2013**

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi elaborado em meio a antecipado saudosismo, pois marca a conclusão do que foi, sem dúvida, uma das melhores fases da minha vida.

Agradeço imensamente aos meus pais, José Miranda e Mariângela, pelo amor incondicional e cuidado ao longo de todos esses anos.

Aos meus irmãos Adriano e Izabella, e à minha cunhada Priscila, pelo carinho e apoio durante esta trajetória.

À memória do meu cunhado Denes Gomes, que me ensinou a usar o ferro de solda. Saudades eternas.

Ao Victor por ser, sem exagero, o melhor namorado do mundo.

À equipe do Laboratório Vanadium pela colaboração na fase experimental.

A todos os professores do Departamento de Química do CEFET-MG, pelos valiosos ensinamentos e contínua fonte de encorajamento, em especial à Professora Janice Cardoso, por despertar em mim a paixão pela química analítica.

À amiga Débora Lopes pelo inestimável companheirismo durante o curso.

A todos os colegas do Bacharelado em Química Tecnológica com quem tive o grande prazer de conviver, bem como tantos outros amigos de outros cursos do CEFET-MG, que tornaram esta caminhada inesquecível.

*"Um pouco de ciência nos afasta de Deus.  
Muito, nos aproxima."*

Louis Pasteur, 1822-1895.

## LISTA DE ABREVIATURAS

- AAS** – Espectrofotometria/Espectrofotômetro de Absorção Atômica
- ABS** - Absorbância
- ACGIH** - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*
- CAS** - *Chemical Abstracts Service*
- DNA** - Ácido Desoxirribonucléico
- EPI** – Equipamento de Proteção Individual
- ICP-AES** - Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente
- LT** – Limite de Tolerância
- MCE** - Membrana de Éster Celulose
- MS** – Ministério da Saúde
- MT** – Ministério do Trabalho
- N.D.** – Não-Detectado
- NIOSH** - *The National Institute for Occupational Safety and Health*
- NR** – Norma Regulamentadora
- OSHA** - *Occupational Safety and Health Administration*
- R<sup>2</sup>** – Coeficiente de Determinação
- RNA** - Ácido Ribonucléico
- RSD** - Desvio Padrão Relativo
- TLV** - *Threshold Limit Values*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Países de maior contribuição na produção primária de chumbo de acordo com Santos (2009) -----	14
Figura 2 - Zonas de temperatura da chama no processo de soldagem -----	20
Figura 3 - Ciclo biogeoquímico de metal pesado $M^{+2}$ -----	21
Figura 4 - Modelo para o metabolismo do chumbo -----	24
Figura 5 - Queimador de fluxo laminar utilizado em AAS -----	32
Figura 6 - Diagrama de uma lâmpada de catodo oco -----	33
Figura 7 - Diagrama de blocos do funcionamento de AAS -----	34
Figura 8 - Visão geral do galpão onde aconteceu a coleta (fundos) -----	39
Figura 9 - Visão geral do galpão onde aconteceu a coleta (frente) -----	40
Figura 10 - Planta baixa da empresa onde foi realizada a coleta -----	40
Figura 11 - Esquema de montagem do cassette amostrador -----	41
Figura 12 - Bomba amostradora de ar acoplada ao calibrador de vazão -----	42
Figura 13 - Utilização da solda de chumbo na Estação de Trabalho 11 -----	43
Figura 14 - Utilização da solda de latão na Estação de Trabalho 10 -----	44
Figura 15 - Utilização da solda de ferro na Estação de Trabalho 9 -----	45
Figura 16 - Ante-sala e janela de acesso dos clientes à recepção -----	46
Figura 17 - Regressão linear efetuada para a curva de Pb -----	52
Figura 18 - Curva analítica de Pb obtida pela análise em AAS -----	52
Figura 19 - Regressão linear efetuada para a curva de Fe -----	53
Figura 20 - Curva analítica de Fe obtida pela análise em AAS -----	53
Figura 21 - Regressão linear efetuada para a curva de Zn -----	54
Figura 22 - Curva analítica de Zn obtida pela análise em AAS -----	54
Figura 23 - Regressão linear efetuada para a curva de Cu -----	55
Figura 24 - Curva analítica de Cu obtida pela análise em AAS -----	55

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 - Identificadores e propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns de seus sais -----	17
Tabela 1 - Propriedades das chamas de mistura gasosa, utilizadas na soldagem -----	19
Tabela 2 - Temperatura da chama em relação à mistura gasosa -----	33
Tabela 3 - Comprimentos de onda para a leitura em AAS -----	49
Tabela 4 - Absorbância dos padrões de Pb e fator RSD -----	51
Tabela 5 - Absorbância dos padrões de Fe e fator RSD -----	53
Tabela 6 - Absorbância dos padrões de Zn e fator RSD -----	54
Tabela 7 - Absorbância dos padrões de Cu e fator RSD -----	55
Tabela 8 - Valores de concentração, ABS e RSD obtidos na leitura das amostras em AAS -----	57

## **RESUMO**

### **ESTUDO DA INTOXICAÇÃO OCUPACIONAL POR CHUMBO E ANÁLISE POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

**MIRANDA, A.N.D., ROCHA, J. C. P.**

O chumbo é um elemento de ampla aplicação pelo ser humano, cuja utilização é datada desde a antiguidade. A relevância na escolha deste metal se dá pelas suas significativas propriedades, como baixo ponto de fusão, maleabilidade e resistência à corrosão, levando a inúmeras aplicações nas indústrias de construção e eletrônicos, dentre outros. Contudo, sua elevada toxicidade traz preocupações para os órgãos de saúde ocupacional no Brasil e no mundo, devido ao seu efeito nocivo no sistema nervoso central através de exposição crônica. Desde o século passado são registrados diversos casos de contaminação por chumbo por trabalhadores, de modo que a sua exposição é considerada insalubridade de grau máximo pelo Ministério do Trabalho brasileiro. Mediante tais restrições, muitos estudos têm sido realizados no sentido de monitorar mundialmente a exposição ocupacional, bem como minimizar e controlar os níveis de emissão. Este trabalho utiliza protocolos internacionais de coleta e análise para avaliar as condições de trabalho em uma empresa onde há risco de contaminação por chumbo, utilizando a técnica de Espectrofotometria de Absorção Atômica para a detecção do metal em amostras de ar.

**Palavras-chave:** Chumbo, intoxicação, AAS.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Revisão Bibliográfica</b>	<b>12</b>
2.1.1 Ocorrência	12
2.1.2 Extração e produção	13
2.1.3 Propriedades	15
2.1.4 Aplicação	18
2.1.5. Exposição e intoxicação	21
2.1.6. Legislação e normas	27
2.1.7. Espectrofotometria de Absorção Atômica	29
2.1.7.1. Fundamentos	29
2.1.7.2. Equipamentos	31
2.1.7.3. Especificações	35
<b>2.2 Materiais e Métodos</b>	<b>37</b>
2.2.1. Reagentes	37
2.2.2. Equipamentos	39
2.2.3. Coleta	39
2.2.4. Calibração	46
2.2.5. Preparação da amostra	50
<b>2.3 Resultados e Discussão</b>	<b>51</b>
2.3.1. Curva analítica	51
2.3.2. Leitura e interpretação dos dados	56
2.3.3 Gerenciamento de resíduos	60
<b>3. CONCLUSÃO</b>	<b>61</b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os chamados "metais pesados", destaca-se o chumbo, reconhecido por sua ampla aplicação. Trata-se de um metal de grande interesse para indústrias de eletrônicos e construção em geral, como acumuladores elétricos, chapas, revestimentos e muitos outros (ROLSTON, 2011). As propriedades singulares do chumbo e sua demanda evidenciam a relevância deste metal nas atividades econômicas no Brasil e em todo o mundo.

No entanto, igualmente relevante é a sua toxicidade elevada. Ao contrário de outros metais bioacumulativos como cobre, zinco e manganês, o chumbo é considerado não-essencial, pois não apresenta nenhuma função para o organismo. Uma vez absorvido, o metal é acumulado no sangue, ossos e tecidos moles, causando disfunções do sistema nervoso central, vascular, gastrointestinal e renal (SHIRI, 2007). A contaminação por chumbo pode acontecer através de água, alimento e solo contaminados, mas a fonte de intoxicação mais relatada é pela inalação de vapores, através de exposição ocupacional. Apesar de muitos estudos terem sido feitos ao longo dos anos, a ocorrência de contaminação ocupacional ainda é elevada, atribuída à falta de informação, treinamento e tratamento de resíduos (MURATA, 2009). De fato, Dounias e colaboradores apresentaram no *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, em 2010, a alarmante estatística de 6% de mortalidade ocupacional na Grécia sendo atribuída à exposição aos compostos plúmbeos. Considerando tais relatos e a crescente preocupação com a saúde do trabalhador, a monitoração da exposição ao metal e das atividades que o utilizam tem sido intensificada por higienistas e órgãos de saúde e do trabalho internacionalmente.

O limite de exposição ao chumbo é um dos mais rigorosamente controlados, de modo que são disponibilizados diversos protocolos de análise e controle para a utilização deste (ACGIH®, 2006). A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) e a *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) são alguns dos principais órgãos que auxiliam neste intuito, trabalhando em reforçar protocolos e treinamentos que promoverão melhores e mais saudáveis condições para trabalhadores submetidos a situações insalubres.

Mediante as observações feitas sobre a recorrente utilização de chumbo, associada ao preocupante índice de contaminação ocupacional, este trabalho tem por objetivo apresentar um breve estudo da utilização do chumbo ao longo do tempo, bem como a sua toxicidade em âmbito ocupacional. Foi elaborado um estudo de caso que ilustra uma situação de trabalho corriqueira de uma empresa de soldagem de Belo Horizonte, Minas Gerais, contextualizando o uso das normas e procedimentos supracitados em condições reais de trabalho e coleta.

O monitoramento para chumbo proposto é feito principalmente através de amostras de ar coletadas no ambiente de trabalho, utilizando um amostrador com vazão calibrada e filtro de membrana de éster de celulose, cuja preparação e coleta são de simples execução (OSHA, 2002). Para este método, utiliza-se amplamente a espectrofotometria de absorção atômica, que determina quantitativamente a concentração do metal através de absorção de energia por parte dos átomos excitados do analito. Trata-se de uma técnica simples, de custo moderado e de fácil operação, além de impacto ambiental mínimo. A absorção atômica é frequentemente utilizada em laboratórios de análise ambiental devido às suas inúmeras vantagens e confiabilidade de resultados (SKOOG, 2005).

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Revisão Bibliográfica**

#### 2.1.1. Ocorrência

O chumbo é um elemento cuja ocorrência natural é datada desde a formação da terra. Acredita-se que foi um dos primeiros metais a ser utilizado nas civilizações antigas em suas várias aplicações. Fontenele (2006) traz um breve histórico de utilização ao longo dos tempos:

A mineração do chumbo era muito difundida pelos gregos e romanos. Embora as minas operassem em pequena escala, ocorria a fundição descontrolada de grandes quantidades de minérios em fogueiras abertas, resultando em emissões substanciais de metais-traço para a atmosfera (NRIGAU, 1996; PAOLIELLO e CAPITANI, 2003 *apud* FONTENELE, 2006).

No Oriente Médio, durante a Idade do Bronze (liga de cobre e estanho), a metalurgia dos minérios de cobre para a confecção de ferramentas, armas e moedas, desenvolveu-se e desempenhou um papel importante na formação dos primeiros grandes estados da história: sumérios, egípcios e micênicos (NRIGAU, 1996; HONG *et al.*, 1996 *apud* FONTENELE, 2006).

O chumbo na crosta é predominantemente encontrado em combinações com outros elementos. Os principais minerais que constituem os minérios plúmbeos são galena, cerussita, anglesita, piromorfita, vanadita, crocroíta e wulfenita. Dentre estes, a galena (PbS) é seu minério mais abundante, apresentando inconfundível clivagem perfeita, peso específico elevado, dureza baixa, brilho metálico e coloração acinzentada. Sua cristalização geralmente ocorre em sistema isométrico ou cúbico, em associação aos minerais esfarelita, piritita, marcassita, calcopirita, cerusita, dolomita, calcita, quartzo e baritina. Apesar do chumbo na crosta terrestre ser quantificado em apenas 0,002%, diversas jazidas é explorado obtendo teor de 0,5 a 3% (SANTOS, 2009).

Os compostos plúmbeos mais comumente encontrados são os acetatos e nitratos, solúveis em água fria; os cloretos, cromatos e estearatos, moderadamente solúveis; os carbonatos, óxidos, sulfatos e sulfetos, de

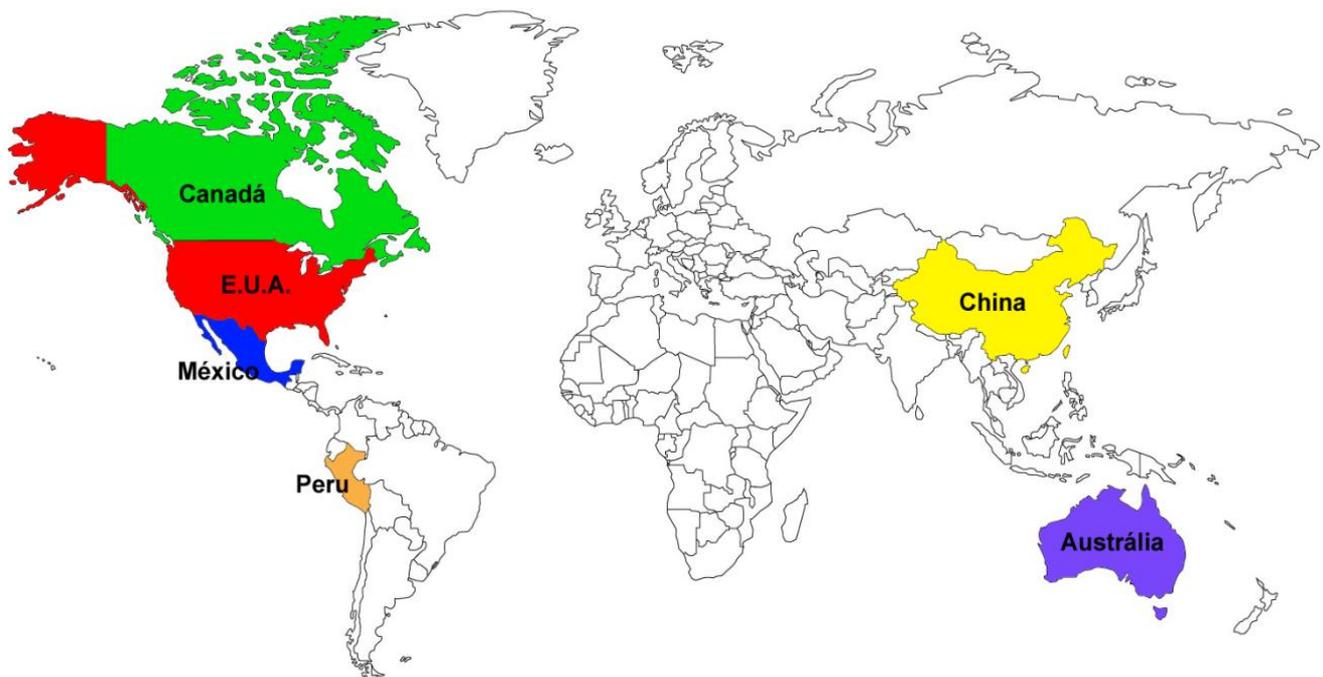
baixa solubilidade. Há ainda alguns compostos orgânicos estáveis, que podem ser obtidos em condições apropriadas de síntese. Dentre estes, destacam-se o tetraetil e o tetrametil chumbo, importantes pelo uso em combustíveis na forma de aditivos. Tais compostos são ligeiramente voláteis e de alta solubilidade em solventes orgânicos, gorduras e lipídeos (ALESSIO *et al.*, 1983; SARYAN *et al.*, 1994 *apud* MOREIRA e MOREIRA 2004).

### 2.1.2. Extração e produção

Devido à grande variedade de composição dos minérios de chumbo, são observados diversos métodos de mineração. No Brasil, é mais utilizado o processo de lavra subterrânea, denominado "*Shrinkage Stopping*", onde a recuperação é de aproximadamente 90%. Inicia-se pelo beneficiamento, onde o chumbo é preparado a partir da galena, frequentemente ligado à prata. Segue uma primeira fase de combustão ao ar livre, utilizando um forno com revérbero ou uma retorta do gênero conservador, com insuflação de ar na presença de cal e de gipso. Nesta fase elimina-se o enxofre, formando óxido de chumbo. Na segunda fase ocorre a fusão redutora, feita em forno tipo "*Waterjacket*" onde se adiciona ao minério queimado um fundente, ferro e coque. Deste modo, o óxido de chumbo sofre redução e o chumbo líquido é depositado no fundo da cuba (ROCHA, 1973 *apud* PANTAROTO, 2007).

Em seguida ocorre a refinação, onde este chumbo bruto é purificado, eliminando cerca de 2% de impurezas metálicas diversas. Nesta etapa utilizam-se principalmente dois processos: o processo eletrolítico de *Betts* (1903), obtendo o chumbo em proporção de 99,99% com traços de estanho; e o processamento a seco por fusão do metal bruto, onde ocorre o espumejamento em superfície do banho promovendo a extração das ligas metálicas que constituem as impurezas imiscíveis, como Cu, Ni, Co e As. Outro processo mais recente é o processo Harris, que consiste em eliminar as impurezas por um fluxo oxidante de soda, cloreto e nitrato de sódio, misturado ao banho de chumbo fundido. Deste modo, as impurezas são eliminadas em forma de espuma. Outros tratamentos especiais são utilizados quando o chumbo bruto contém proporções elevadas de metais nobres, tais como ouro e prata (ROCHA, 1973 *apud* PANTAROTO, 2007).

As reservas de chumbo são mais significativas em outras regiões do mundo em detrimento ao Brasil, uma vez que o arcabouço geológico brasileiro não é favorável para a ocorrência deste. As jazidas consideradas apropriadas para a exploração são relacionadas às zonas de atividade vulcânica erogênica, não observadas no craton brasileiro. A Austrália detém aproximadamente 26% das reservas mundiais, seguida da China com aproximadamente 16%. Outros países detentores de jazidas são principalmente Canadá, Peru e México. Foram também identificadas reservas de chumbo relacionadas a zinco, prata e cobre na Irlanda e em Portugal. Na Figura 1 estão representados os países responsáveis por um terço da produção primária de chumbo mundialmente (SANTOS, 2009).



**Figura 1.** Países de maior contribuição na produção primária de chumbo de acordo com Santos (2009). Ilustração por André Nogueira.

Atualmente, a China destacou-se na produção mundial, somando um volume de 1,5 milhões de toneladas no ano de 2007, superando neste ano a Austrália em três vezes. A produção de chumbo primário é considerada inelástica por constituir um subproduto da mineração de zinco, de forma que o mercado de chumbo depende do desenvolvimento da produção de zinco, e este não apresenta correlação com a demanda de chumbo (SANTOS, 2009).

No Brasil, as reservas mantêm níveis aproximadamente constantes entre 450.000 e 500.000 toneladas. A produção de chumbo primário não ultrapassa 10% do consumo interno. Nos anos 80 e 90, a produção de chumbo era oriunda de lavras na Bahia, Paraná e a partir do tratamento do minério de zinco em Minas Gerais, sendo obtido como produto secundário. Em 1996 foi registrado o encerramento das minerações brasileiras por exaustão das reservas. Atualmente, a produção no Brasil limita-se a uma mina em Morro Agudo, MG, como subproduto da exploração de minério de zinco, administrada pela Votorantim Metais. Esta jazida é formada por rochas sedimentares carbonáticas, de corpo principal com comprimento de 1 km e largura de 500m. A obtenção de chumbo nesta lavra não é utilizada no produto interno, apenas para fins de exportação. Em 2007, seu faturamento foi estimado em torno de R\$5 bilhões (SANTOS, 2009).

A partir da década de 90 observou-se um grande aquecimento na indústria de reciclagem de chumbo, de modo que este meio de obtenção chegou a superar a produção primária. Entre 1997 e 2007 foi registrado aumento em 6% da obtenção mundial de chumbo através da reciclagem, passando a representar 56,70% do consumo mundial. Deste modo, a demanda mundial de chumbo é equilibrada entre produção primária e reciclagem, estimulada pela aquisição de uma nova consciência ecológica que incentiva o aprimoramento das tecnologias de reutilização. Os índices de reciclagem de chumbo são da ordem de 70% em países desenvolvidos e 30% nos países em desenvolvimento (SANTOS, 2009).

### 2.1.3. Propriedades

O chumbo é de cor cinza-azulada, macio e maleável, e contrátil sob resfriamento. Consta na coluna 14 da tabela periódica, de número atômico 82 e massa molar de 207,21 g mol<sup>-1</sup>. Sua densidade é de 11340 kg m<sup>-3</sup> e apresenta pontos de fusão e ebulição em 327,4°C e 1749°C, respectivamente, embora comece a emitir vapores na faixa de 500 a 600°C. Tais fumos combinados com o oxigênio do ar formam óxidos de chumbo (MOREIRA e MOREIRA, 2004). O elemento possui quatro elétrons em sua camada de valência. No entanto, somente dois destes ionizam-se facilmente, de modo que o estado de oxidação mais comum para o chumbo inorgânico

é +2. Pode ser utilizado na forma metálica pura, ou combinado com outros metais ou compostos, especialmente óxidos (MOREIRA e MOREIRA, 2004). Quando é submetido a corte, o chumbo imediatamente revela um brilho metálico, porém este desaparece quando a superfície é exposta ao ar, por ação dos componentes presentes no ar, como oxigênio, dióxido de enxofre e vapor de água. (ROCHA, 1973 *apud* PANTAROTO, 2007).

São diversas as características que atribuem ao chumbo sua relevância. Dentre elas, destacam-se sua grande resistência à corrosão, tanto em ambientes urbanos e também rurais e marítimos, além de maleabilidade, baixo ponto de fusão, alta densidade, alta opacidade aos raios X e Gama, além da estabilidade química aos componentes ambientais. (PAOLIELLO e CHASIN, 2001 *apud* PANTAROTO, 2007). Em seu trabalho de pós-graduação em Enfermagem do Trabalho, Fausto (2009) apresenta um quadro com as principais propriedades de diversos compostos plúmbeos, reproduzido no Quadro 1:

**Quadro 1.** Identificadores e propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns de seus sais de acordo com Fausto (2006).

Identificador e propriedades físico-químicas	Chumbo	Acetato de chumbo	Carbonato de chumbo	Sulfato de chumbo	Sulfeto de chumbo	Monóxido de chumbo	Dióxido de chumbo	Chumbo tetraetila
<b>Número CAS</b>	7439-92-1	301-04-2	598-63-0	7446-14-2	1314-87-0	1317-36-8	1309-60-0	78-00-2
<b>Sinônimos</b>	Metal de chumbo. Lasca de chumbo.	Diacetato de chumbo. Acetato plumboso. Sal de saturno. Açúcar de chumbo. Acetato de chumbo neutro. Acetato dibásico de chumbo.	Cerusita. Ácido carbônico. Carbonato de chumbo II.	Anglesita. Chumbo branco. Sulfato de chumbo II. Leite branco.	Galena. Monossulfeto de chumbo. Sulfeto plumboso. Sulfeto de chumbo II.	Litargírio. Óxido de chumbo II. Óxido plumboso.	<i>Plattnerite</i> . Ácido plumbico. Chumbo marrom. Óxido de chumbo marrom. Peróxido de chumbo. Superóxido de chumbo	<i>TEL. Lead tetraethie. Tetraethyl plumbane.</i>
<b>Fórmula molecular</b>	Pb	PbC <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	PbCO <sub>3</sub>	PbSO <sub>4</sub>	PbS	PbO	PbO <sub>2</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>20</sub> Pb
<b>Massa molar (g mol<sup>-1</sup>)</b>	207,19	325,28	267,20	303,25	239,25	223,19	239,19	323,45
<b>Ponto de ebulição (°C)</b>	1740	-	-	-	1281 (sublima-se)	1470	-	200; 227,7 (decompõe-se)
<b>Ponto de fusão (°C)</b>	327,502	280	315 (decompõe-se)	1170	1114	888	290 (decompõe-se)	-130
<b>Pressão de vapor</b>	1,77 mmHg a 1000°C; 10 mmHg a 1162°C; 100 mmHg a 1421°C; 400mmHg a 1630°C	-	-	-	10 mmHg a 975°C (sólido)	10 mmHg a 1085°C	-	0,2 mmHg a 20°C
<b>Reatividade</b>	Pode reagir vigorosamente com materiais oxidantes. Violentas reações com NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , ClF <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NaN <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> e Zr. Reage com ácido nítrico concentrado, ácido clorídrico concentrado e ácido sulfúrico.	É incompatível com ácidos, sulfatos solúveis, citratos, cloretos, carbonatos, álcalis, tanino, fosfatos, resorcinol, ácido salicílico, fenol, hidrato de cloral, sulfitos.	-	-	-	-	Incompatível com carboneto de alumínio, sulfeto de bário, hidroxilamina, molibdênio, fenilhidrazina e fósforo.	-
<b>Solubilidade em água fria (g L<sup>-1</sup>)</b>	Insolúvel	443	0,0011	Levemente solúvel	Insolúvel	Insolúvel	Insolúvel	0,29mg/L a 25°C

Fonte: Poliello *et al.*, 2003 *apud* Fausto, 2006.

#### 2.1.4. Aplicação

As muitas formas de aplicação e propriedades do chumbo determinam usos distintos, variando de acordo com a forma que este é apresentado. São diversas as ligas de chumbo que podem ser utilizadas industrialmente. Estima-se que cerca de 40 % do chumbo é utilizado na forma metálica, enquanto 25% deste é composto por ligas e 35% em outros compostos químicos (ATSDR, 1995 *apud* PANTAROTO, 2007). Na forma metálica, o chumbo é utilizado no fabrico de lâminas e tubos de grande flexibilidade e resistência à corrosão, de forma que o chumbo é muito requerido pela indústria de construção. Além disso, o metal também é amplamente utilizado como revestimento de cabos, componente de soldas, em coberturas protetoras, atuando como metalizante, e outros materiais de revestimento. O chumbo é aplicado ainda na indústria automotiva, pois além das características supracitadas, também é um material protetor contra radiações ionizantes, além de matéria prima na produção de baterias (PAOLIELLO e CHASIN, 2001 *apud* PANTAROTO, 2007). Partindo para as formas combinadas, têm-se os óxidos de chumbo, usados nas placas de acumuladores elétricos, como componentes na manufatura da borracha, constituintes de tintas e de materiais vitrificados (ATSDR, 1995 *apud* PANTAROTO, 2007). Além dos óxidos, também os sais de chumbo são material base na produção de tintas e pigmentos: na forma de sulfatos e carbonatos, produzem-se pigmentos brancos, e como cromatos são obtidos os pigmentos de cor amarela, laranja, vermelho e verde. Outros compostos como o arseniato, acetato e naftenato de chumbo são de grande aplicação, como exemplo, em inseticidas, secantes e aditivantes em combustíveis (PANTAROTO, 2007). As ligas de chumbo podem ser melhoradas combinando-se outros metais como antimônio, arsênio, estanho e bismuto, aprimorando determinadas características mecânicas e químicas. O chumbo também é usado como aditivo em ligas predominantemente por outros metais, como as de latão, bronze e aço (PAOLIELLO e CHASIN, 2001 *apud* PANTAROTO, 2007).

Em janeiro de 2003, a *U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries*, revista que trata da indústria de mineração americana, relatou que o chumbo nos Estados Unidos é consumido principalmente na indústria

de transporte, com 76% do uso variando em produção de baterias, tanques de combustível, soldas, selantes, anéis e balanceamento de rodas. Outros 22% do consumo são referentes ao setor elétrico e eletrônico, bélico, construção e vidros para televisão. A parcela restante é distribuída nos setores de vidros e cerâmicas, em cobertura de fios e na indústria química (SANTOS, 2009).

Uma aplicação amplamente utilizada do chumbo é no processo de soldagem de peças metálicas. A solda é a junção de peças de material igual ou similar entre si. A superfície do metal base sofre plastificação ou liquefação sob ação do calor e/ou pressão. Geralmente utiliza-se um metal de adição para consolidar a união das peças, de forma que o material da peça é que vai determinar o tipo de solda a ser aplicada. O metal de adição deve possuir ponto de fusão próximo ou ligeiramente inferior àquele do metal da peça, caso contrário pode ocorrer uma deformação plástica. O calor utilizado na fundição dos metais é gerado através de chama oriunda da combustão de dois gases, geralmente oxigênio e outro gás combustível, cuja proporção varia de acordo com as características desejadas de oxidação e temperatura (SENAI/CST, 2006). A Tabela 1 apresenta as diferentes propriedades das chamas geradas pela mistura de oxigênio com gases acetileno, propano e metano:

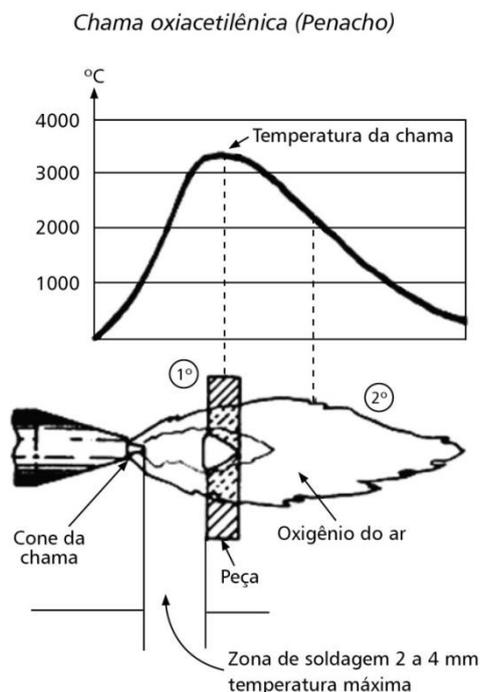
**Tabela 1.** Propriedades das chamas de mistura gasosa, utilizadas na soldagem.

<b>Propriedades</b>	<b>Acetileno</b>	<b>Propano</b>	<b>Metano</b>
Temperatura da chama (°C)	3200	2800	2700
Velocidade da combustão (cm s <sup>-1</sup> )	700	270	2760
Potência da chama (kJ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	16,0	2,5	6,5
Relação da mistura O <sub>2</sub> /Gás	1,5:1	3,75:1	1,6:1
Poder calorífico (kcal cm <sup>-3</sup> )	14000	22300	4300

Fonte: SENAI/CST, 2006.

A chama possui regiões de maior ou menor temperatura, de modo que o operador pode utilizá-la de acordo com a sua necessidade. A Figura 2

apresenta um gráfico que relaciona a temperatura da chama oxiacetilênica de acordo com a posição da mesma:



**Figura 2.** Zonas de temperatura da chama no processo de soldagem.  
Fonte: SENAI/CST, 2006.

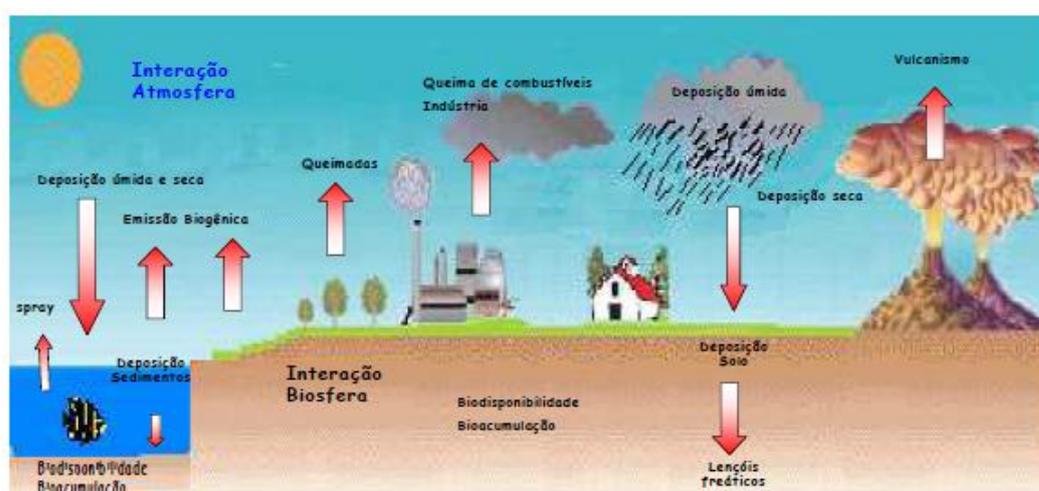
Neste processo, a chama é direcionada para o metal base, aquecendo-o até a temperatura próxima da fusão. Em seguida, uma vareta metálica de composição igual ou similar à da peça é fundida pela chama e unida ao metal base, de modo que ambos solidifiquem-se formando uma única peça (SENAI/CST, 2006). O método de soldagem é determinado pela condução do maçarico e posição da vareta de solda, sendo que este varia de acordo com o tipo de metal base, sua espessura, porosidade, etc. Alguns cuidados devem ser tomados na realização dessa técnica, que só deve ser executada por um profissional qualificado. É necessária a constante regulagem e observação dos cilindros de gás e dos manômetros utilizados, bem como é indispensável o uso de EPI's apropriados: sapato de segurança, máscara, luvas, óculos ou protetor facial, guarda pó ou avental de material grosso e não inflamável (SENAI/CST, 2006).

Devido à reconhecida toxicidade do chumbo em vapores de solda, muitos estudos têm sido realizados para aprimorar a tecnologia deste material, no intuito de torná-lo mais seguro para os operadores (MADUREIRA, 2009).

Segundo Ekvall (2009), a utilização do chumbo como componente em soldas foi proibida na União Européia desde 2004, devido ao seu impacto no meio ambiente e na saúde humana. Esta medida também foi instaurada pelo governo japonês em 2006 (MADUREIRA, 2009), e impulsionou o desenvolvimento de soldas tratadas ou substituídas, sem prejudicar as suas propriedades de interesse, como maleabilidade e resistência à corrosão. Ekvall e colaboradores desenvolveram um material de solda substituída com prata, que reduz em cinco vezes a emissão de chumbo (EKVALL, 2009). De fato, em seu trabalho de pós graduação, Madureira (2009) cita a prata como o metal com maior potencial para substituição do chumbo nas ligas de solda.

### 2.1.5. Exposição e intoxicação

A emissão atmosférica por metais pesados, sendo tanto de origem natural como antropogênica, está inserida em um ciclo biogeoquímico de deposição que relaciona aspectos como a concentração do metal presente no ar e as atividades de precipitação, bem como períodos de seca. Trata-se de um extenso estudo avaliativo no intuito de gerenciar os impactos ambientais causados por esses elementos tóxicos. Em seu trabalho, Fontenele (2006) apresenta um esquema para o ciclo biogeoquímico de um metal pesado, onde estão destacadas as fontes emissoras, os processos de remoção e deposição atmosférica, como mostra a Figura 3:



**Figura 3.** Ciclo biogeoquímico de metal pesado  $M^{+2}$ . Fonte: FONTENELE (2006)

Ainda no mesmo trabalho, Fontenele traz as principais fontes de emissão atmosférica para o chumbo, sendo elas: processos biogênicos de origem continental e marinha, atividade vulcânica e poeiras oriundas do solo. Tratando-se da ação do homem, a autora lista os principais processos que provocam emissão, seguidos das respectivas concentrações:

- queima de carvão (0,53; 8,2 e 5,2 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- combustão de óleo (0,14; 2,4 e 1,9 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- queima de madeira (0,12; 2,1 e 0,90 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- incineração de resíduos (0,75; 2,4 e 1,6 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- fabricação de aço e ferro (0,16; 7,6 e 1,5 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- produção de metais não-ferrosos primários (chumbo, cobre, níquel, zinco) (5,5; 45 e 23 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- produção de metais não-ferrosos secundários, que constitui de atividades como o derretimento de sobras, oxidação de impurezas, refinamento do cobre (apenas para chumbo e cobre: 0,76 e 0,11 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- indústrias de cimento (para cádmio e chumbo 0,27 e 7,1 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>);
- pigmentos e de fertilizantes à base de fosfato (0,17; 0,16 e 0,41 x 10<sup>9</sup> g ano<sup>-1</sup>) (FONTENELE, 2006).

A intoxicação por chumbo ocorre de forma gradativa, resultante de um acúmulo freqüente e prolongado. As vias de absorção dos compostos inorgânicos são principalmente respiratórias e digestivas. A intoxicação por via cutânea só é possível para os compostos orgânicos. Os compostos absorvidos pela via respiratória variam em sua forma, podendo ser fumos metálicos ou material particulado. A absorção também é distinta de acordo com as condições pré-existentes em cada indivíduo, bem como à concentração submetida. De acordo com Sadao (2002), 90% das partículas de chumbo inaladas do ar ambiente são absorvidas. O autor descreve o a toxicocinética do metal no organismo humano:

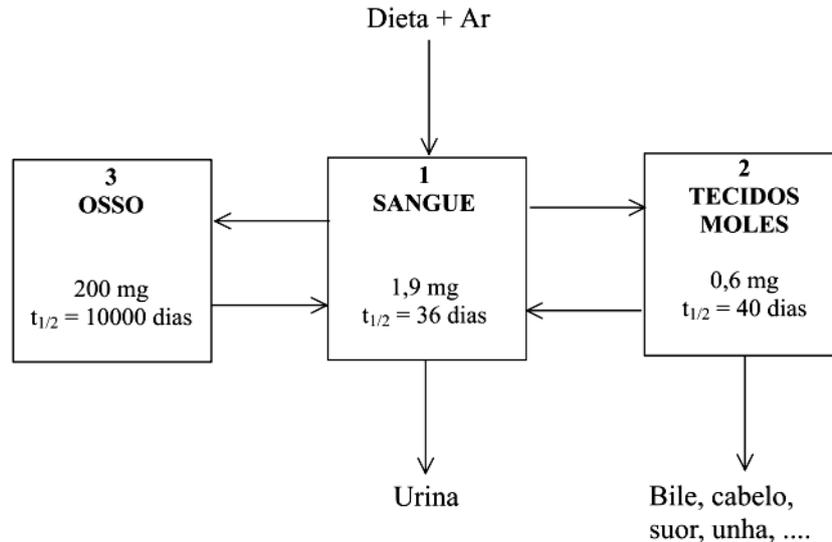
Estas partículas serão então, depositadas nas regiões nasofaríngea, traqueobrônquica e alveolar, de onde serão eliminadas pelo mecanismo mucociliar da laringe, ou serão engolidas e absorvidas, ou eliminadas pelo trato gastrointestinal (com exceção da região alveolar) (SADAO, 2002).

Uma pequena fração de chumbo tende a formar-se no sangue, configurando menos de 2% da sua concentração total no organismo. Sadao prossegue descrevendo a distribuição do metal pelos sistemas:

Após a absorção, é distribuído pelo sangue, inicialmente nos tecidos moles, principalmente no epitélio tubular dos rins e fígado, onde parte é excretada na bile, outra é armazenada e uma terceira penetra na circulação na forma de fosfato de chumbo. Com o tempo, é redistribuído e depositado nos ossos (95%), dentes e cabelo, provavelmente por seguir as rotas metabólicas do cálcio (SADAO, 2002).

Níveis elevados de chumbo também podem ser encontrados na aorta, glândulas suprarenais, tireóide e jejuno, ultrapassando ainda, a barreira cerebral, mas sendo encontrado no cérebro em pequenas concentrações, acumulando-se predominantemente na substância cinzenta e nos gânglios da base (Sadao, 2002).

É possível, através de uma análise dos ossos longos, a determinação de gradientes de concentração do chumbo depositado variando de acordo com o tempo e grau de exposição. O chumbo nos ossos não é biologicamente ativo, mas este pode sofrer mobilização mediante algumas condições extremas, como fraturas ou cirurgias, de modo a acusar uma reincidência do contaminante, mesmo após o afastamento da fonte de contaminação. A retenção de chumbo nos tecidos moles sofre estabilização na vida adulta, observando-se um decréscimo com o avanço da idade. Contudo, sua acumulação nos ossos será pouco amenizada ao longo da vida, permanecendo quase inalterada. Esta eliminação do chumbo no organismo acontece de forma muito lenta, sendo mais rápida quando oriunda do sangue, seguida dos tecidos moles e, por fim, de ossos e dentes, nos quais o tempo de meia vida biológica é de aproximadamente vinte anos. Alguns estudiosos (Kaji *et al.*, 2006) apresentam o chumbo como sendo analogamente similares ao cálcio, de forma a seguir os mecanismos de absorção desse metal nos ossos, mas não há um consenso da sua toxicinética por parte da comunidade científica (MOREIRA e MOREIRA, 2004). Em seu artigo publicado na revista *Ciência e Saúde Coletiva*, em 2004, Moreira e Moreira trazem um modelo para o metabolismo de chumbo no organismo, apresentado por Rabinowitz, de acordo com a Figura 4:



**Figura 4.** Modelo de três compartimentos para o metabolismo do chumbo.  
Fonte: RABINOWITZ, 1976 *apud* MOREIRA e MOREIRA, 2004.

Na figura acima, as setas indicam a orientação da absorção e deposição do metal no organismo. É apresentada em cada reservatório a absorção média de chumbo naquele tecido, bem como o tempo de meia vida.

Os efeitos observados na presença de chumbo no organismo são principalmente devido às interferências que ocorrem no funcionamento normal das membranas celulares e enzimas, ocorridas na interação do chumbo complexado na presença de não-metais como fósforo, nitrogênio, oxigênio e enxofre. Os órgãos que sofrem mais criticamente o efeito da contaminação são a medula óssea, os rins e o sistema nervoso, onde o metal altera a biossíntese da hemoglobina, os eletrólitos, o metabolismo mineral e lipídico, bem como o metabolismo de DNA e RNA e aminoácidos. No entanto, a mais severa das interações produzidas pela intoxicação por chumbo é a encefalopatia, que quando afeta a formação de fetos e crianças, pode causar diversas anomalias comportamentais e de aprendizado, e ainda disfunções sensório-motoras (MOREIRA e MOREIRA, 2004). Na cartilha elaborada pelo Ministério da Saúde em 2006, para a saúde dos trabalhadores expostos ao chumbo metálico, é apresentado um quadro listando os sintomas e sinais associados à intoxicação por chumbo, reproduzidos abaixo:

Leve: Mialgia, irritabilidade, parestesias, fadiga leve, dor abdominal intermitente, letargia.

Moderada: Cefaléia, vômitos, náuseas, fadiga severa, dor abdominal difusa e frequente, perda de peso, redução da libido, constipação intestinal, tremores, mialgias, prestesia, artralgia, labilidade emocional, dificuldades de concentração.

Grave: Encefalopatia, neuropatia motora, convulsões, coma, cólica abdominal aguda, linha gengival de Burton, nefropatia (OHB, 2001; ALESSIO, 1981 *apud* BRASIL/MS, 2006).

Segundo Pantaroto (2007), a exposição crônica ao chumbo acarreta nas chamadas Síndromes Cerebrais Orgânicas, tendo início de forma lenta com irritabilidade difusa, dificuldade em novos aprendizados, dificuldade de encarar situações novas, evoluindo até o estágio final de encefalopatia. O quadro geralmente é seguido de morte ou alteração permanente da função nervosa cerebral, incluindo epilepsia e atrofia cerebral. (PAOLIELLO *et al.*, 1997 *apud* PANTAROTO, 2007). Em seu trabalho sobre uso e saúde pública sobre o chumbo, PANTAROTO relata diversos casos de acidentes e contaminação por chumbo em processos de produção e outros:

No mês de Maio de 1982, foi detectado um surto de Saturnismo em Franca. Após estudos chegou-se a conclusão que a contaminação estava partindo das tachinhas usadas no processo de montagem dos calçados. A contaminação se dava por via digestiva, pois no processo de trabalho o operário colocava a tachinha na boca antes de utilizá-la no calçado. Esta contaminação ficou conhecida como a "Doença das Tachinhas" (FUNDACENTRO, 1982 *apud* PANTAROTO, 2007).

Intoxicação por Chumbo em atividade de instrução de tiro em Minas Gerais. Devido ao manuseio de cápsulas de tiro, limpeza de armas, ambiente sem ventilação um funcionário foi avaliado, devido aos sintomas que sentia, e foi detectado alto teor de chumbo no sangue (SILVEIRA e FERREIRA, 2003 *apud* PANTAROTO, 2007).

Empresa de acumuladores elétricos em Bauru. Após avaliação por técnicos da Fundacentro na fábrica da Ajax, em Bauru, foi detectado risco potencial grave de contaminação de funcionários em quase todas as etapas do processo de fabricação. Vários haviam sido afastados nos últimos meses devido nível alto de chumbo no organismo. Na época foi solicitado à empresa correções (FUNDACENTRO, 1987 *apud* PANTAROTO, 2007).

Intoxicação por Chumbo. Em função da emissão de particulados de chumbo no ar, a CETESB interditou em

Janeiro de 2002, uma indústria de acumuladores elétricos em Bauru. A fábrica estava em funcionamento desde 1958 em área periférica do município. Optou-se por estudar as crianças, consideradas em grupo de maior risco. Através dos estudos foi detectado com alto teor de chumbo no sangue de crianças e também altos teores em alimentos cultivados em áreas vizinhas a empresa, que foi interditada (PADULA *et al.*, 2006 *apud* PANTAROTO, 2007).

Exposição humana à contaminação por chumbo e arsênio no vale do Ribeira, SP-PR. Após longos anos de mineração de chumbo, zinco, prata e arsênio na região, até 1996, quando minas se esgotaram e empresas fecharam, foi deixado para trás um grande passivo ambiental. Passivo este gerado pelos antigos descartes de minas e depósitos de rejeitos minerais com alta concentração de Chumbo e Arsênio ao redor da antiga empresa. Como resultado constatou-se alto nível de contaminação em solo e água da região. Não apenas a questão ambiental, mas a de saúde pública, também está afetada, pois esta contaminação também foi detectada na população vizinha a área (FIGUEIREDO *et al.*, 2005 *apud* PANTAROTO, 2007).

Mediante diversos relatos e estudos sobre a toxicidade do chumbo, órgãos de saúde nacionais e internacionais passaram a regular os processos produtivos e a exposição à qual os trabalhadores são submetidos. Em 2006, Campos afirmou que não existia no Brasil uma estimativa verossímil sobre o número de trabalhadores expostos ao chumbo, somente estudos regionais e específicos tratando principalmente do envolvimento com a reciclagem de baterias automotivas (Campos, 2006 *apud* Fausto, 2009). No entanto, devido às condições de trabalho existentes nos países em desenvolvimento, os trabalhadores que lidam com este metal em geral encontram-se sob freqüente exposição a concentrações elevadas de vapores tóxicos. O Ministério da Saúde preparou uma cartilha de normas e manuais técnicos intitulados: "Atenção à Saúde dos Trabalhadores Expostos ao Chumbo Metálico" (2006). Neste compilado está apresentado um quadro com as principais atividades profissionais e fontes de exposição ambiental ao chumbo metálico, de acordo com Langridan, 1994; OSHA, 1993; Silveira, 1991; Ramirez, 1986; Bedrikow, 1985; Lax, 1996; e Barsan, 1996, reproduzido abaixo:

- Exposições ocupacionais a poeiras e fumos de chumbo.
- Extração, concentração e refino de minérios contendo chumbo.
- Fundição de chumbo.

- Produção, reforma e reciclagem de acumuladores elétricos.
- Fabricação e têmpera de aço chumbo.
- Fundições de latão e bronze.
- Reparo de radiadores de carro.
- Manuseio de sucatas de chumbo.
- Instrução e prática de tiro.
- Produção de cerâmicas.
- Jateamento de tintas antigas à base de chumbo.
- Soldas à base de chumbo.
- Produção de cristais.
- Uso de rebolos contendo chumbo.
- Corte a maçarico de chapas de chumbo ou pintadas com tintas à base de chumbo.
- Demolição, queima, corte ao maçarico de materiais revestidos de tintas contendo chumbo.
- Demolição de instalações antigas com fornos de chumbo.
- Produção de pigmentos contendo chumbo.
- Operações de lixamento/polimento de materiais contendo chumbo (BRASIL/MS, 2006).

São também apresentadas as fontes de exposições não-ocupacionais ao chumbo metálico, sendo elas:

- Residência nas vizinhanças de empresas que manuseiam ou manusearam chumbo.
- Uso de medicações que contêm chumbo.
- Utilização de vasilhames de estanho contendo chumbo.
- Presença de projéteis de arma de fogo no organismo.
- Ingestão acidental de água ou alimentos contendo chumbo.
- Ingestão de água contaminada com chumbo.
- Contato com solo contaminado com pesticidas contendo chumbo (BRASIL/MS, 2006).

#### 2.1.6. Legislação e normas

Conforme a legislação brasileira (2000), a Norma Regulamentadora número 15 do Ministério do Trabalho, intitulada Atividades e Operações Insalubres, em seu Anexo nº 11, estabelece o valor de 0,1 mg/m<sup>3</sup> para o limite de tolerância (LT) de chumbo no ar, considerando uma exposição máxima de 48 horas por semana. Este anexo assegura que medidas preventivas deverão ser adotadas sempre que o valor registrado atinja a metade da concentração recomendada como LT, sendo este valor chamado de Nível de Ação: "Entende-se por 'Limite de Tolerância', para os fins desta Norma, 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/MT, 2000). O Anexo nº 11 ainda traz o chumbo como sendo grau máximo de insalubridade, estabelecendo assim: “O exercício de trabalho em condições de insalubridade assegura ao trabalhador a percepção de adicional, incidente sobre o salário mínimo da região, equivalente a 40% (quarenta por cento), para insalubridade de grau máximo” (BRASIL/MT, 2000).

Outra referência normativa muito utilizada são os valores de estabelecidos pela ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, criada em 1936 nos Estados Unidos. Os *Threshold Limit Values* - TLV<sup>®</sup> - são níveis calculados considerando a exposição contínua em uma vida de trabalho. Para o chumbo, esse valor alcança o máximo de 0.05 mg/m<sup>3</sup>, calculado sobre o volume de ar ao qual o trabalhado é exposto durante uma jornada de oito horas (ACGIH, 2006). Outros órgãos internacionais tratam de exposição ocupacional: a NIOSH (*The National Institute for Occupational Safety and Health*) é uma agência do governo federal estadunidense, oriunda do CDC (*Centers for Disease Control*) que conduz pesquisas e elabora normas para prevenir acidentes e doenças do trabalho. Sua missão é produzir conhecimento científico e fornecer soluções práticas que são vitais para reduzir os riscos de danos e morte em indústrias tradicionais, como construção, mineração e agricultura (NIOSH, 2013). Todas as publicações, estudos, relatórios técnicos e normas estão disponíveis gratuitamente em seu sítio virtual, sendo constantemente atualizadas. Com relação ao chumbo, a NIOSH determina um limite de <0,1 mg/m<sup>3</sup> no ar, e 60 µg/100g no sangue (NIOSH, 2013). Há também a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*), também associada ao Ministério do Trabalho dos EUA, que funciona no intuito de garantir a segurança e condições saudáveis de trabalho para homens e mulheres através da determinação de procedimentos padronizados e oferecendo treinamento e assistência (OSHA, 2013). De acordo com a OSHA, o limite de tolerância para o chumbo é de 0,05 mg/m<sup>3</sup>, sendo esse valor aproximado aos outros determinados pelos órgãos similares (OSHA, 2013). Muitos países têm restringido o uso de chumbo em tintas e pigmentos, como nos Estados Unidos, para concentrações acima de 0,06%, e na Nova Zelândia, em concentrações acima de 0,5% (PAOLIELLO e CHASIN, 2001 *apud*

PANTAROTO, 2007). No Brasil não existe uma Lei específica que estabeleça limites para o chumbo em pigmentos. As concentrações máximas nos compostos orgânicos do chumbo estão sujeitas a prescrições legais em vários países, enquanto outros baniram seu uso (PAOLIELLO e CHASIN, 2001 *apud* PANTAROTO, 2007). É importante enfatizar que os LT's internacionais são utilizados como norteamento das atividades consideradas insalubres, contudo para efeitos de fiscalização, são as NRs determinadas pelo Ministério do Trabalho brasileiro que devem ser observadas e cumpridas. No protocolo de exposição ocupacional ao chumbo metálico supracitado, o Ministério da Saúde orienta sobre as notificações cabíveis numa situação de contaminação:

Toda intoxicação ocupacional por Pb é passível de notificação compulsória pelo SUS, segundo parâmetros da Portaria GM/MS/777, de 28 de abril de 2004.

Toda intoxicação ocupacional por Pb deve ser comunicada à Previdência social, por meio de abertura de Comunicação de Acidente de Trabalho (BRASIL/MS, 2006).

## 2.1.7. Espectrofotometria de Absorção Atômica

### 2.1.7.1. Fundamentos

As técnicas baseadas na utilização da luz para determinação de espécies químicas são chamadas de espectrofotométricas. São técnicas para análises qualitativas e quantitativas de determinado elemento presente numa amostra, baseando-se nas propriedades da luz, especialmente a conhecida dualidade onda-partícula. Tratando-se de ondas, estas consistem na oscilação perpendicular de campos elétricos e magnéticos, submetidas a um comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a uma frequência ( $\nu$ ). Simultaneamente, a luz também constituída de partículas chamadas fótons, sendo que tal consideração é muito útil para explicar os fenômenos de energia, pois cada fóton é transportador de uma porção quantizada de energia a ser absorvida ou emitida. No fenômeno de absorção, o átomo é promovido a um estado onde o aumento de energia resulta na excitação eletrônica. De modo análogo, a emissão de um fóton causa diminuição da energia, sendo que o estado de menor energia é chamado de estado fundamental (HARRIS, 2012).

Em 1870, Johann Heinrich Lambert observou que a transmissão luminosa e a espessura da camada absorvente podem ser relacionadas: na travessia de um feixe de luz monocromática sobre um meio transparente homogêneo, a absorção em cada camada deste meio ocorre em igual fração, independentemente da intensidade da luz que incidia. Em associação a este trabalho, August Beer observou que a absorção luminosa em uma mistura é proporcional à concentração dos compostos absorventes. Desta forma foi enunciada a Lei de Lambert-Beer: "a intensidade da luz emitida decresce exponencialmente à medida que a espessura do meio absorvente aumenta aritmeticamente" (SKOOG, 2005). De acordo com esta lei, a absorbância seria diretamente proporcional à concentração de um composto absorvente (chamado "c") e ao caminho ótico (chamado "b") deste meio absorvente, relacionados conforme a Equação 1:

$$A=abc \quad \text{Equação 1.}$$

Na equação acima, "a" é a absorvidade molar, característica para cada espécie. Geralmente é expresso o caminho ótico em centímetros e a concentração em mols por litro, de modo que a absorvidade molar será expressa em  $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  fazendo com que a absorbância seja uma grandeza adimensional (SKOOG, 2005). Assim, a Lei de Lambert-Beer é expressa em função da absorvidade molar  $\epsilon$  de acordo com a Equação 2:

$$A=\epsilon bc \quad \text{Equação 2.}$$

Uma vez expressa na forma das equações 1 e 2, a Lei de Lambert-Beer pode ser utilizada para calcular diversas variáveis: se a concentração e o caminho ótico forem conhecidos, é possível caracterizar a espécie através da determinação da absorvidade molar; pode-se utilizar o valor medido de absorbância para obter a concentração de um composto cuja absorvidade molar já foi determinada. É possível ainda determinar a proporção de misturas de acordo com a absorbância obtida, construção de curvas analíticas utilizando padrões externos, dentre muitos outros recursos (SKOOG, 2005).

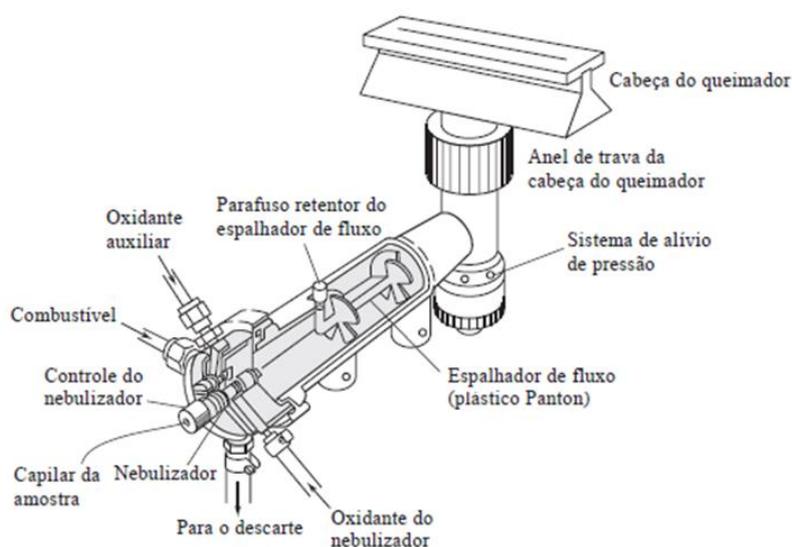
Dentre as técnicas que utilizam a luz para a análise de espécies, é conhecida a espectroscopia atômica, desenvolvida por Alan Walsh, na

Austrália, na década de 50. Trata-se da decomposição atômica da solução do analito por chama, forno ou plasma, onde uma fonte externa de radiação incide sobre este vapor produzido. Uma vez atomizada e no estado gasoso, a amostra é analisada de acordo com a absorção ou emissão da radiação. Caso a radiação apresentar o comprimento de onda apropriado, esta pode ser absorvida pelos átomos do analito promovendo-os a estados excitados. A vaporização ocorre em temperaturas extremamente elevadas, até a decomposição em átomos, e a leitura é efetuada em determinado comprimento de onda incidente, específico para cada elemento. Esta técnica possui as vantagens de alta sensibilidade, alta capacidade de distinção entre elementos, facilidade e automatização da análise. Geralmente, as amostras são diluídas para que seu nível seja reduzido a partes por milhão (HARRIS, 2012).

#### *2.1.7.2. Equipamentos*

Na absorção atômica, a amostra tratada em meio líquido é aspirada por um nebulizador, sendo dispersa em um fino aerossol, e em partículas cada vez menores. Esta névoa é carregada até a chama de forma que o líquido evapore e o remanescente seja atomizado. A chama consiste num queimador por mistura prévia, no qual é promovida a mistura dos gases combustível e oxidante, juntamente com a amostra, ocorrendo uma homogeneização prévia (SKOOG, 2005). O primeiro processo na chama é a dessolvatação das gotículas, que ocorre na zona de combustão primária. Em seguida, as partículas divididas em frações bem finas são levadas até a região central da chama, chamada de cone interno. Submetidas à parte mais quente da chama, as partículas são então vaporizadas e transformadas em átomos gasosos, em íons elementares e em espécies moleculares. Por fim, os produtos de atomização são carregados para a parte externa da chama, chamado cone externo, e ali ocorre a oxidação seguida de dispersão na atmosfera (SKOOG, 2005). O sistema impede a passagem de grandes gotículas de líquido, de modo que o excesso é coletado e drenado. Segundo Harris (2012), somente 5% da solução

amostral inicial é levada à chama na forma de aerossol. A Figura 5 mostra um queimador empregado em absorção atômica:



**Figura 5.** Queimador de fluxo laminar utilizado em AAS. Fonte: SKOOG, 2005.

A temperatura da chama na análise de absorção atômica é determinante para a decomposição eficiente da amostra em átomos, além de interferir no número relativo de átomos excitados e não excitados do analito. Segundo Skoog, a ocorrência de elevação de 10°C na temperatura de uma chama a 2500 °C leva a um aumento de aproximadamente de 3% na população de átomos de sódio no estado excitado. Não obstante, a mesma variação em decréscimo corresponde a uma variação de apenas 0,002% no número de átomos no estado fundamental. Em média, o número de átomos não excitados em uma chama ultrapassa o número de átomos excitados em uma taxa de  $10^3$  a  $10^{10}$  para mais (SKOOG, 2005). Na Tabela 2 está indicada a temperatura média da chama de acordo com os gases combustível e oxidante utilizados:

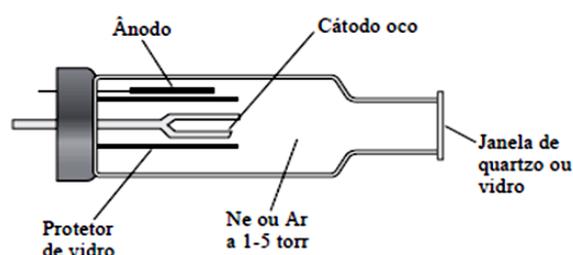
**Tabela 2. Temperatura da chama em relação à mistura gasosa**

<b>Combustível e Oxidante</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
*Gás/Ar	1.700-1.900
*Gás/O <sub>2</sub>	2.700-2.800
H <sub>2</sub> /Ar	2.000-2.100
H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	2.500-2.700
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /Ar	2.100-2.400
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	3.050-3.150
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O	2.600-2.800

\*Propano ou gás natural

Fonte: SKOOG, 2005.

Outra parte essencial do AAS é a lâmpada de catodo oco, feita de um anodo de tungstênio e um catodo metálico selado em um tubo de vidro, contendo um gás inerte à pressão entre 1 e 5 torr (SKOOG, 2005). Quando uma corrente é aplicada entre o anodo e o catodo, ocorre ionização do gás inerte (geralmente argônio ou neônio) de modo que íons positivos sejam acelerados em direção ao catodo. O catodo é específico para o metal analisado, sendo bombardeado com íons de Ne<sup>+</sup> ou Ar<sup>+</sup>, presentes nos gases contidos na lâmpada, que possuem alta energia. Os átomos de metal do catodo são excitados e expelidos em nuvem eletrônica, e em seguida excitados mediante colisões eletrônicas, emitindo fótons. Esta emissão de radiação possui a mesma frequência na qual os átomos de metal do analito presente na chama são capazes de absorver (SKOOG, 2005). Na Figura 6 está representado um esquema da lâmpada de catodo oco:



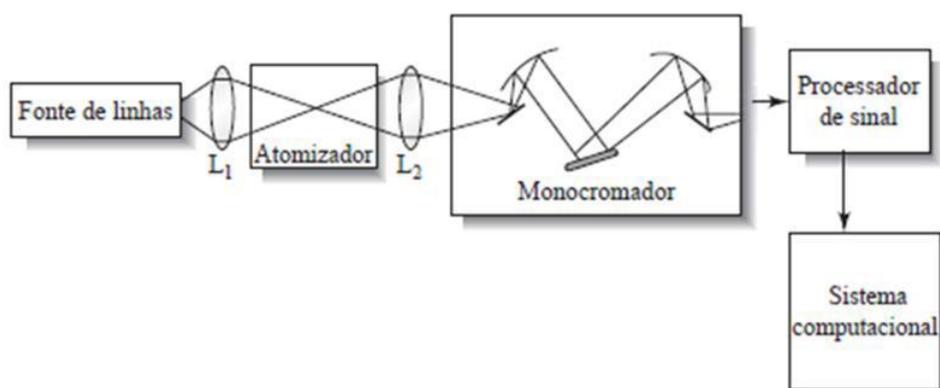
**Figura 6.** Diagrama de uma lâmpada de catodo oco. Fonte: SKOOG, 2005.

Este sistema, com o auxílio de um monocromador que seleciona o comprimento de onda desejado e rejeita os restantes, garante a

seletividade da análise. A utilização de lâmpadas de catodo oco é essencial para a produção de linhas estreitas e de frequência correta, pois o monocromador sozinho não é capaz de isolar as linhas muito estreitas. Em seguida, um detector mede a quantidade de luz que passa pela chama, e o sinal elétrico é interpretado por uma interface, um software, associado ao equipamento (SKOOG, 2005). O procedimento de análise por AAS pode ser resumido nos seguintes tópicos (OSHA, 2002):

- I. Nebulização
- II. Dessolvatação
- III. Liquefação
- IV. Vaporização
- V. Atomização
- VI. Excitação
- VII. Ionização

Na Figura 7 está esquematizado um diagrama para a análise em absorção atômica:



**Figura 7.** Diagrama de blocos do funcionamento de AAS. Fonte: SKOOG, 2005.

Harris (2012) explica que alguns instrumentos podem detectar mais de 70 elementos simultaneamente, pois o espectro oriundo de átomos no estado gasoso é formado por linhas muito estreitas, de largura de banda de  $10^{-3}$  nm de modo a não haver sobreposições. A obtenção de resultado em análise de AAS pode ser feita por meio de cálculo utilizando a Lei de Lambert-Beer, ou mais comumente utilizando uma curva analítica com

padrões de concentração conhecida. Esses padrões podem ser obtidos comercialmente e devem possuir uma certificação de padrão primário.

### 2.1.7.3. Especificações

A OSHA fornece algumas definições úteis para a análise instrumental, listadas abaixo:

Limite de detecção qualitativo: é a concentração em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de um elemento que fornecerá a absorbância igual a duas vezes o desvio padrão de uma série de medidas em solução aquosa contendo o elemento. O sinal obtido da solução aquosa deve ser significativamente maior do que a linha base (OSHA, 2002).

Limite de detecção analítico: a menor concentração em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de um elemento que pode ser quantificado de forma confiável. Esse limite é o maior valor obtido de qualquer um dos três cálculos possíveis:

- a) Três vezes o menor valor possível lido pelo instrumento, diferente de zero,
- b) Duas vezes a média do desvio da linha base, ou
- c) O menor padrão utilizado para construir a curva analítica.

Um décimo da concentração deste padrão é considerado o limite de detecção se:

A média de leitura deste padrão estiver dentro de 20% da sua resposta linear. A linearidade é determinada pelos outros padrões utilizados na construção da curva e aplicando o cálculo de regressão linear.

Se a leitura de absorbância do menor padrão possui erro maior do que 20% é utilizado um algoritmo e o valor da concentração é aumentado em incrementos de 10% até que se chegue em um valor que apresente menos de 20% de erro, ou até que o valor da concentração do menor padrão seja alcançado (OSHA, 2002).

Sensibilidade: é a concentração em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de um elemento em solução aquosa que produzirá uma absorbância de 0.0044 (OSHA, 2002).

Alcance linear: é a faixa de trabalho de um analito em específico. O alcance é considerado linear se o dobro da concentração de um padrão resultar em um aumento de pelo menos 75% na absorbância (OSHA, 2002).

Outro tópico tratado pela OSHA seriam os interferentes da análise, podendo estes ser caracterizados como químicos, matriciais, de ionização ou

espectral. Interferências de fase condensada (chamadas interferências químicas) ocorrem quando o elemento de interesse combina-se com outras espécies na chama, de modo a alterar o número de átomos disponíveis para a emissão ou absorção. Este efeito pode resultar tanto em aumento ou decréscimo do sinal (geralmente decréscimo) no resultado obtido. Interferências químicas podem ser controladas mediante o uso de chama mais quente, ou pela adição de um agente inibidor de reações paralelas entre o metal e a espécie interferente (OSHA, 2002). Interferências de matriz ocorrem quando as características físicas da amostra e das soluções padrão utilizadas na calibração são consideravelmente diferentes, tais como viscosidade ou tensão superficial. Isto ocorre quando a amostra contém uma grande quantidade de sal ou ácido, quando os solventes utilizados para amostra e padrões foram diferentes, ou quando a diferença de temperatura entre padrões e amostra for significativamente distinta. O controle é feito igualando-se as matrizes, ou diluindo-se a amostra até que este efeito seja minimizado (OSHA, 2002). A interferência de ionização acontece quando a temperatura da chama é suficientemente alta para ionizar espécies de interesse. Este efeito modifica o perfil de absorção removendo átomos da chama e causa perda de sensibilidade. A correção é feita utilizando uma quantidade próxima a 0,1% de um metal facilmente ionizável, como sódio ou potássio, de modo que o excesso de elétrons liberados na chama reduz o grau de ionização do metal a ser determinado (OSHA, 2002). Interferências espectrais ocorrem quando outro elemento que não aquele de interesse absorve a radiação no mesmo comprimento de onda do analito, causando um aumento errôneo do sinal. Este efeito também é observado quando utiliza-se uma lâmpada de catodo oco multielementar que contém elementos de absorbância em comprimentos de onda próximos e o monocromador usado permite uma faixa muito ampla. No primeiro caso, deve ser utilizado uma linha alternativa do programa, e no outro caso é usado uma lâmpada de único elemento, ou a faixa do monocromador deve ser estreitada (OSHA, 2002). Por fim, podem também ocorrer interferências devido à absorção do fundo (*background*). Skoog (2005) explica que a ABS total medida é a ABS do analito mais a ABS do fundo. Esta absorção de fundo pode incluir absorção de chama, molecular, ou espalhamento de luz. A absorção de chama é mais severa abaixo dos 250nm, e pode ser

controlada pela cuidadosa otimização dos fluxos de oxidante e combustível. Pode-se também utilizar outros tipos de chamas, mais transparentes nessa faixa de comprimento de onda, ou ainda uma lâmpada de deutério como correção de fundo (OSHA, 2002). A correção de fundo com fonte contínua emprega uma lâmpada de deutério para obter uma estimativa da ABS de fundo, enquanto uma lâmpada de cátodo oco obtém a ABS total. A absorbância corrigida é obtida calculando-se a diferença entre as duas (SKOOG, 2005). A absorção molecular é controlada pelo aumento na temperatura da chama, que virá a quebrar as moléculas, ou também pela correção de fundo com de corrente contínua. Por último, o espalhamento de luz ocorre em comprimentos de onda menores, quando a amostra possui grande quantidade de sal. Esta interferência também é controlada com o uso de lâmpada de deutério.

## **2.2. Materiais e Métodos**

Este trabalho descreve um breve relato do controle da exposição ocupacional ao chumbo, bem como a metodologia aplicada no procedimento de coleta e análise. As análises químicas foram efetuadas utilizando os recursos do Laboratório Vanadium de Ensaios Físico-Químicos, localizado em Betim, Minas Gerais. A coleta das amostras foi feita numa empresa que trabalha com soldagem.

### 2.2.1. Reagentes

1. Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 37% PA (FMaia).
2. Ácido clorídrico (HCl) 70% PA (ISO FAR).
3. Solução de Água Régia: 1:3 (v/v)  $\text{HNO}_3$ :HCl.
4. Solução de hidróxido de sódio (NaOH).
5. Solução padrão multielementar de metais para ICP (Sigma-Aldrich TraceCERT 90243).
6. Solução de Água Régia 4% (1% $\text{HNO}_3$ , 3% $\text{HCl}$ ).
7. Gás acetileno (White-Martins).

8. Ar comprimido (Empire).
9. Água deionizada (Deionizador Insight modelo EA230).

### 2.2.2. Equipamentos

1. Amostrador: filtro de membrana de éster de celulose (Zefon modelo FMCE837), poros de 0,8  $\mu\text{m}$ , em um cassette de acrílico.
2. Bomba amostradora de ar (Sensidyne modelo GilAir 5) calibrada à vazão de 4L/min, com alça e mangueira flexível para conexão.
3. Calibrador de vazão analógico (Gillian modelo Gilibrator-2).
4. Espectrofotômetro de absorção atômica (GBC modelo 906) de feixe simples com queimador de ar-acetileno, monocromador de prisma e lâmpada de deutério.
5. Lâmpadas de catodo oco (Photron e Luxan) específicas de chumbo, zinco, cobre e ferro.
6. Regulador e compressor para a mistura ar-acetileno (Air Plus modelo CSV 10/100).
7. Béquer de 125mL (Uniglass).
8. Balões volumétricos de 25mL (Digolab Classe A).
9. Proveta de 500mL (Prolab).
10. Funil de vidro grande (Prolab).
11. Pipetadores e ponteiras de 1000 $\mu\text{L}$  e 10mL (Thermo Scientific modelos HJ27335, HJ27495, calibradas em 06/03/2013).
12. Papel de filtro faixa preta  $\varnothing$  11,0cm (J. Prolab).
13. Chapa aquecedora (Tradelab).
14. Capela de exaustão (Tradelab modelo TLA/11).
15. Deionizador de água (Hipperquímica modelo SP1650-43).

Todas as vidrarias foram lavadas em banho com ácido nítrico e enxaguadas com água destilada. Foi utilizado equipamento de proteção individual (óculos, luvas, jaleco) e a digestão das amostras foi efetuada em capela de exaustão.

### 2.2.3. Coleta

A coleta foi realizada no dia 25 de junho de 2013. O local escolhido foi uma empresa que oferece serviços de soldagem, na região metropolitana de Belo Horizonte, MG. A solda com componente plúmbeo é amplamente aplicada em vários ramos industriais, sendo comum sua utilização em pequenas oficinas. Em muitos casos, não são utilizados os equipamentos de proteção individual e coletiva para a manipulação destes materiais (Fausto, 2009), de modo a tornar-se pertinente a investigação de um risco real de contaminação por parte dos trabalhadores envolvidos. A empresa de soldagem, que pediu para não ser identificada, opera em um galpão de aproximadamente 250m<sup>2</sup>, com pé direito em torno de 8m. Não há exaustores no local e a ventilação acontece principalmente pela entrada dianteira, onde há um portão de entrada de veículos com dimensões de 3m de largura por 4m de altura. No fundo do galpão, há duas pequenas aberturas na parede a aproximadamente 5m do chão, que contribui para a ventilação. Existem quatro estações de trabalho, algumas dessas subdivididas com anteparos de madeira improvisados que não isolam a área, apenas bloqueando visualmente. Há ainda uma pequena sala fechada e separada para a recepção, na parte dianteira do galpão, e outras salas sem portas. Há também um anteparo de madeira em toda a parte dianteira de 2,20m de altura, entre o portão de entrada e o resto do galpão, que impede a entrada de pessoas não autorizadas. A visão geral está representada nas Figuras 8 e 9:

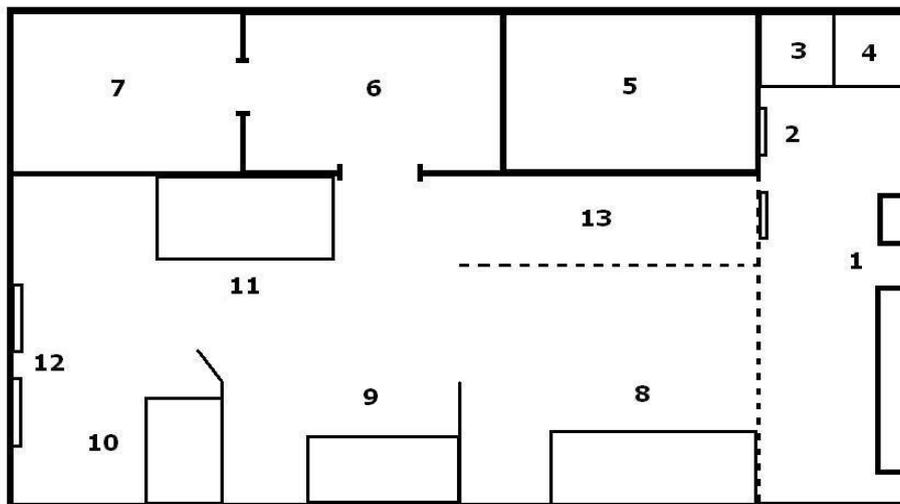


**Figura 8.** Visão geral do galpão onde aconteceu a coleta (fundos).



**Figura 9.** Visão geral do galpão onde aconteceu a coleta (frente).

Na Figura 10, observa-se um esboço da planta baixa do local:



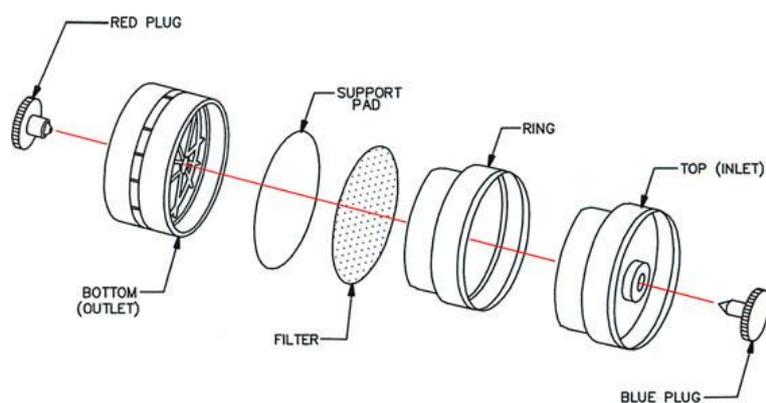
**Figura 10.** Planta baixa da empresa de soldagem.

**Legenda:**

- |   |                        |                         |
|---|------------------------|-------------------------|
| 1. Entrada de veículos e pessoas          | 4. WC Masculino        | 10. Estação de trabalho |
| 2. Janela da recepção (acesso ao público) | 5. Recepção            | 11. Estação de trabalho |
| 3. WC Feminino                            | 6. Sala                | 12. Janelas             |
|   | 7. Sala                | 13. Corredor            |
|   | 8. Estação de trabalho |                         |
|   | 9. Estação de trabalho |                         |

Foi informado que nesta empresa trabalham quatro operadores de solda, incluindo o proprietário, e uma recepcionista. O proprietário informou ainda que todos os funcionários passam por exames de sangue anualmente para monitorar a exposição ao chumbo e outros metais. O último exame teria sido no mês de fevereiro de 2013, e não foi detectado chumbo no sangue em nenhum dos funcionários. O acesso só foi permitido após instruções de conduta dentro do galpão, bem como o fornecimento de óculos de proteção, protetor auricular e máscara.

A coleta foi efetuada obedecendo às especificações da norma NIOSH 7082. Foram preparados seis amostradores com filtro do tipo MCE em cassetes de acrílico, sendo cada um deles vedado e identificado. Os filtros têm diâmetro de 37mm, superfície lisa e branca, sem manchas ou resíduos. O esquema de montagem está representado na Figura 11



**Figura 11.** Esquema de montagem do cassete amostrador utilizando filtro de MCE. Fonte: OSHA, 1988.

A bomba coletora foi previamente calibrada utilizando um calibrador de vazão primária: uma mangueira foi acoplada na bomba conectando-a ao calibrador, onde uma pequena porção de sabão e água é depositada na parte inferior. O calibrador detecta quando uma bola formada na base alcança a parte superior, percorrendo toda a extensão de um tubo de volume igual a 0,5L e determinando assim a vazão em litros por segundo. A vazão da bomba amostradora de ar foi calibrada em 4,016 L/min, conforme apresentado na Figura 12:



**Figura 12.** Bomba amostradora de ar acoplada ao calibrador de vazão.

Cada amostrador foi submetido a um tempo de coleta de 50 minutos, de forma que à vazão de 4,016 L/min, a quantidade de ar amostrado foi de 200,8 L. A metodologia estabelece o limite mínimo para coleta de ar em 200 L e máximo em 1500 L, de modo que o volume amostrado está dentro das especificações.

O amostrador foi acoplado à bomba por meio de uma mangueira flexível. O ar é sugado de fora para dentro quando a bomba é ligada, de modo que todo o volume amostrado passa primeiro pelo filtro e qualquer partícula fica ali retida. Seguindo as instruções do fabricante, o funcionário operando a solda utilizou a bomba pendurada em seu ombro pela alça. O cassette foi então preso à gola do uniforme, bem próximo ao rosto do funcionário. Este posicionamento é necessário para que o ar coletado seja obtido nas mesmas condições que o funcionário está exposto e respira na execução de sua tarefa, garantindo assim a representatividade da amostra.

Foram efetuadas cinco coletas em diversos pontos da empresa, e o sexto amostrador foi separado para servir como Branco de Campo. A coleta para cada um dos amostradores ocorreu conforme as descrições abaixo:

### **Amostradores 1 e 2:**

Coletados na Estação de Trabalho 11 durante a utilização de solda de chumbo e estanho 60/40, mostrado na Figura 13.

Amostrador 1:

Início da coleta: 9h09.

Término da coleta: 9h59.

Amostrador 2:

Início da coleta: 10h22.

Término da coleta: 11h12.

Esta estação de trabalho não é muito confinada, possui maior ventilação por se encontrar de frente para a porta das salas. Foi informado pelo operador que a solda utilizada é tratada previamente na sua fabricação de modo que o chumbo em sua composição seja pouco volátil, por motivos de segurança e saúde. O operador utilizou luvas, máscara, óculos de proteção e avental.



**Figura 13.** Utilização da solda de chumbo na Estação de Trabalho 11.

### **Amostrador 3:**

Coletado na Estação de Trabalho 10 durante a utilização da solda de latão 70/15 (cobre/zinco), mostrado na Figura 14.

Início da coleta: 11h19.

Término da coleta: 12h09.

A utilização dessa solda é feita utilizando um anteparo escuro, pois o brilho da chama é muito intenso e pode ser prejudicial para os olhos. O processo de soldagem gera muito vapor de odor forte. O operador utilizou luvas, máscara, óculos de proteção e avental.



**Figura 14.** Utilização da solda de latão na Estação de Trabalho 10.

### **Amostrador 4:**

Coletado na Estação de Trabalho 9 durante a utilização de solda de ferro, mostrado na Figura 15.

Início da coleta: 14h00.

Término da coleta: 14h50.

Na utilização dessa solda também é utilizado um anteparo escuro, protegendo os olhos do brilho intenso da chama. O operador utilizou luvas, máscara, óculos de proteção e avental.



**Figura 15.** Utilização da solda de ferro na Estação de Trabalho 9.

#### **Amostrador 5:**

Coletado na Recepção (5) durante as atividades normais da recepcionista, mostrado na Figura 16.

Início da coleta: 15h16.

Término da coleta: 16h06.

A recepção é separada do galpão por uma porta, mas há uma janela que permanece aberta na maior parte do tempo. A recepcionista não utiliza equipamento de proteção em sua sala, mas esta tem acesso às estações de soldagem e utiliza EPI quando vai até elas.



**Figura 16.** Ante-sala e janela de acesso dos clientes à recepção.

**Amostrador 6:** Branco de campo. Não foi submetido a nenhum procedimento de coleta, permanecendo lacrado e guardado durante todo o tempo de coleta.

O procedimento de coleta foi efetuado procurando alcançar a maior representatividade possível da situação de trabalho diária nesta empresa, embora o número de amostradores tenha sido limitado devido à disponibilidade do equipamento. A metodologia não sugere uma amostragem sistemática, de modo que o procedimento pode ser considerado representativo segundo os padrões da NIOSH. Após a coleta, os amostradores foram guardados em saco plástico e levados ao laboratório, para serem posteriormente analisados.

#### 2.2.4. Calibração

A calibração do espectrofotômetro de absorção atômica foi efetuada utilizando um padrão multielementar da marca Sigma-Aldrich, que possui selo CRM (Certified Reference Material), ISO/IEC 17025 e ISO Guide 34. A validade deste está prevista para novembro de 2016. Ele é válido para a calibração dos seguintes elementos: Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Tl e Zn, sendo que a concentração destes na solução do padrão é diferenciada para cada elemento. Deste

modo, em uma única preparação é possível obter as curvas analíticas de cada elemento em concentração ajustada, e a diferenciação entre as curvas é efetuada através da lâmpada específica para cada elemento. No rótulo, é informado que a concentração no padrão para o chumbo é de  $100\text{mg L}^{-1}$ , enquanto as concentrações para cobre, ferro e zinco são de  $10\text{mg L}^{-1}$ , ou seja, dez vezes menor. O rótulo também informa que a solução possui matriz de  $\text{HNO}_3$  em 10% w/w, de modo que todos os padrões serão soluções levemente ácidas.

Os cálculos foram efetuados utilizando a concentração de chumbo ( $100\text{mg L}^{-1}$ ) em um balão volumétrico de 25,00 mL. Foram calculados cinco padrões nas seguintes concentrações: 5,0; 3,0; 1,0; 0,5 e  $0,25\text{mg L}^{-1}$ :

Concentração inicial:  $C = 100,0\text{mg L}^{-1}$  Equação 4.

Volume final:  $V' = 25,00\text{mL}$  Equação 5.

Concentração final (Padrão 1):  $C' = 5,0\text{mg L}^{-1}$

Equação 3.

Utilizando uma fórmula simples de diluição (SKOOG, 2005), podemos considerar:

$$C.V = C'.V' \quad \text{Equação 6.}$$

Levando as equações 3, 4 e 5 na equação 6, temos:

$$100 \frac{\text{mg}}{\text{L}}.V = 5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}.25,00\text{mL} \quad \text{Equação 7.}$$

$$V = \frac{5.25,00\text{mL}}{100}$$

$$V = 1,25\text{mL}$$

Utilizando um pipetador automático, foi dispensado um volume de  $1250\mu\text{L}$  ( $1,25\text{mL}$ ) de padrão multielementar no balão volumétrico de 25,00mL. O balão foi avolumado com água deionizada.

A equação 6 foi aplicada sucessivamente para o cálculo dos padrões 2 e 3. Os volumes obtidos para cada concentração final de padrão foram:

Padrão 2 de Pb ( $3,0\text{mg L}^{-1}$ ):  $V=0,75\text{mL}$

Padrão 3 de Pb ( $1,0\text{mg L}^{-1}$ ):  $V=0,25\text{mL}$

Para os padrões 4 e 5, o cálculo foi efetuado partindo da diluição do padrão 1, cuja concentração é de  $5,0\text{mg L}^{-1}$ . Deste modo, os volumes obtidos foram:

Padrão 4 de Pb ( $0,5\text{mg L}^{-1}$ ):  $V=2,50\text{mL}$

Padrão 5 de Pb ( $0,25\text{mg L}^{-1}$ ):  $V=1,25\text{mL}$

Foram utilizadas as diluições para a obtenção destes últimos padrões devido à capacidade mínima dos pipetadores, de modo que não fosse agregado um erro à análise. Cada balão volumétrico teve seu volume completo até o menisco com água deionizada.

Tratando-se de um padrão primário multielementar, os balões supracitados poderiam ser aproveitados para a obtenção de curva analítica para calibração de ferro, zinco e cobre. O rótulo do padrão utilizado indica que a concentração de cada um destes elementos é de  $10,0\text{mg L}^{-1}$  em solução, ou seja, dez vezes menor do que a concentração para chumbo. Desta forma, o padrão de  $5,0\text{mg L}^{-1}$  de chumbo seria utilizado para a leitura desses três elementos em concentração de  $0,5\text{mg L}^{-1}$ , e assim sucessivamente. No entanto, as concentrações disponíveis para ferro, zinco e cobre nos balões já preparados não produziram curvas satisfatórias para a análise, pois a faixa de trabalho ficaria muito abaixo do desejado. Assim, a equação 6 foi novamente aplicada no cálculo de novos padrões, desta vez com a concentração inicial  $C=10,0\text{ mg L}^{-1}$ :

$$10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot V = 5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 25,00\text{mL} \quad \text{Equação 8.}$$

$$V = \frac{5 \cdot 25,00\text{mL}}{10}$$

$$V = 12,50\text{mL}$$

Para o padrão mais concentrado ( $5,0\text{mg L}^{-1}$ ), chamado de Padrão 1, foi dispensado um volume de 12,50mL de padrão primário em um balão de 25,00mL, avolumado com água deionizada. O cálculo foi repetido para as diluições seguintes, conforme listado abaixo:

Padrão 2 de Fe, Zn e Cu ( $3,0\text{ mg L}^{-1}$ ):  $V=7,50\text{mL}$

Padrão 3 de Fe, Zn e Cu ( $1,0\text{ mg L}^{-1}$ ):  $V=2,50\text{mL}$

Padrão 4 de Fe, Zn e Cu ( $0,5\text{ mg L}^{-1}$ ):  $V=1,25\text{mL}$

Padrão 5 de Fe, Zn e Cu ( $0,25\text{ mg L}^{-1}$ ):  $V=0,62\text{mL}$

Para cada padrão foi utilizado o pipetador automático e a ponteira equivalente. Os balões foram todos avolumados para 25,00mL com água deionizada.

Os padrões foram analisados em espectrofotômetro de absorção atômica, com nebulização em chama oxiacetilênica. A análise foi efetuada separadamente para cada elemento em comprimento de onda apropriado para cada um deles, de acordo com a tabela abaixo:

**Tabela 3.** Comprimentos de onda para a leitura em AAS.

<b>Elemento</b>	<b><math>\lambda</math> (em nm)</b>
Chumbo	283,3
Ferro	248,3
Zinco	213,9
Cobre	240,7

As configurações do equipamentos foram automaticamente ajustadas pelo programa GBC Avanta<sup>®</sup> versão 1.33, *copyrights* de GBC Scientific Equipment Pty LTDA, 1996, e as absorbâncias para cada padrão foram obtidas utilizando o mesmo programa.

### 2.2.5. Preparação da amostra

A preparação dos amostradores para análise também foi efetuada obedecendo às especificações da norma NIOSH 7082, apenas utilizando uma redução de volume final com o intuito de aproveitar melhor os recursos cedidos e evitar desperdício. É importante ressaltar que este método não é específico para compostos, apenas para o metal em questão. Outros procedimentos analíticos podem ser utilizados para identificar compostos específicos. Há ainda outras metodologias específicas para chumbo que permitem uma aplicação mais ampla, propondo uma abertura diferente para compostos plúmbeos de outra natureza, como aqueles oriundos de pigmentos. No entanto, nesses procedimentos pode ocorrer a inibição de outros metais cuja leitura seria interessante para este trabalho, além de modificar a matriz da amostra impedindo a calibração correta dos outros elementos. Por este motivo, foi escolhida uma metodologia que possibilita uma abertura multielementar e que não compromete a leitura do elemento chumbo, pois não é esperado a presença de formas combinadas do chumbo além da forma de óxidos e metálica, previstas nessa metodologia.

Os cassetes amostradores foram abertos e os filtros foram transferidos para béqueres limpos e identificados. Adicionou-se a cada recipiente um volume de 2,5mL de HNO<sub>3</sub>. Após repousar durante 30 minutos à temperatura ambiente, os béqueres foram levados à chapa aquecedora numa faixa de temperatura entre 120 e 150°C, e ali permaneceram até que o volume fora reduzido a aproximadamente 0,5mL. Esta redução de volume levou cerca de cinco minutos. Neste ponto, observou-se que os filtros de MCE foram dissolvidos no meio ácido, e a solução resultante passou a adquirir uma coloração amarelada sob aquecimento. O branco foi iniciado neste ponto, adicionando uma pequena porção de HNO<sub>3</sub> em um béquer limpo e deixando o volume reduzir para aproximadamente 0,5mL. Em seguida, foi adicionado a cada béquer aproximadamente 5mL de água régia 4%, e novamente estes foram deixados sob aquecimento até a redução máxima possível de volume, o que levou em torno de vinte minutos. Em seguida, os béqueres foram retirados da chapa, lavados cuidadosamente com água deionizada e transferidos quantitativamente para balões identificados de 25mL, avolumando-os com água deionizada.

Após a aferição do menisco, as soluções foram submetidas à análise em espectrofotômetro de absorção atômica previamente calibrado, utilizando chama oxiacetilênica. A leitura foi efetuada individualmente para cada elemento de interesse na sequência: Pb, Fe, Zn e Cu, nos comprimentos de onda listados na tabela 2. As configurações do equipamentos foram automaticamente ajustadas para cada elemento utilizado o programa GBC Avanta<sup>®</sup> versão 1.33, *copyrights* de GBC Scientific Equipment Pty LTDA, 1996. Foi realizada a leitura em triplicata para todas as amostras.

## 2.3. Resultados e discussão

### 2.3.1. Curva analítica

Utilizando o programa OriginPro 8, foram calculadas as curvas analíticas utilizadas na calibração do equipamento, partir da absorbância obtida na análise em AAS. O GBC Avanta fornece juntamente com a ABS o coeficiente RSD, um valor que é baseado na dispersão dos resultados em relação à média. O equipamento efetua múltiplas leituras de ABS no momento da análise, calculado o valor mais confiável a ser entregue, juntamente com o RSD associado a este. Valores inferiores a 2,5% indicam pequena dispersão dos resultados (UFSC, 2003).

As Figuras 18 a 24 as curvas analíticas obtidas para cada elemento e juntamente com a análise de regressão linear efetuada pelo programa, de acordo com as Tabelas 4 a 7:

**Tabela 4.** Absorbância dos padrões de Pb e fator RSD.

<b>Padrão</b>	<b>Concentração (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>ABS</b>	<b>%RSD</b>
1	5,0	0,5232	0,8
2	3,0	0,3139	1,4
3	1,0	0,1046	0,6
4	0,5	0,0523	0,8
5	0,25	0,0261	1,8

*Parameters*

		Value	Standard Error
B	Intercept	-2,77556E-17	1,64646E-16
	Slope	0,10465	6,19542E-17

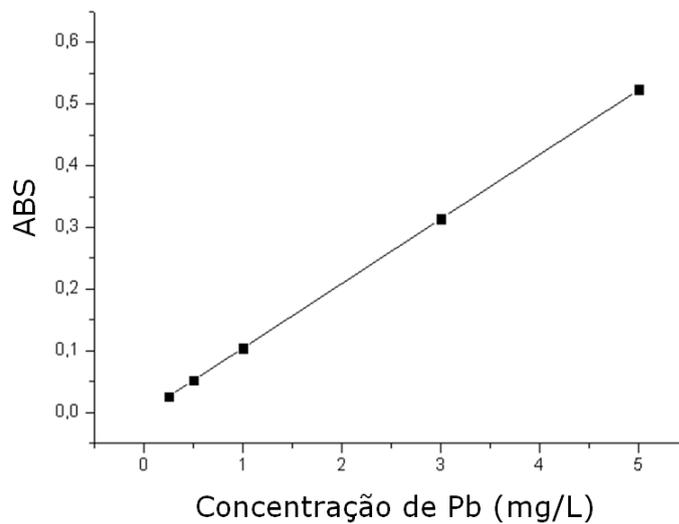
*Statistics*

	B
Number of Points	5
Degrees of Freedom	3
Residual Sum of Squares	1,87694E-31
Adj. R-Square	1

*Summary*

B	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
B	-2,77556E-17	1,64646E-16	0,10465	6,19542E-17	1

**Figura 17.** Regressão linear efetuada para a curva de Pb pelo OriginPro 8.



**Figura 18.** Curva analítica de Pb obtida pela análise em AAS.

**Tabela 5.** Absorbância dos padrões de Fe e fator RSD.

Padrão	Concentração (mg L <sup>-1</sup> )	ABS	%RSD
1	5,0	0,247	1,5
2	3,0	0,152	1,1
3	1,0	0,051	1,9
4	0,5	0,025	1,9
5	0,25	0,012	0,1

*Parameters*

		Value	Standard Error
Abs	Intercept	0,00877	0,00683
	Slope	0,04437	0,00144

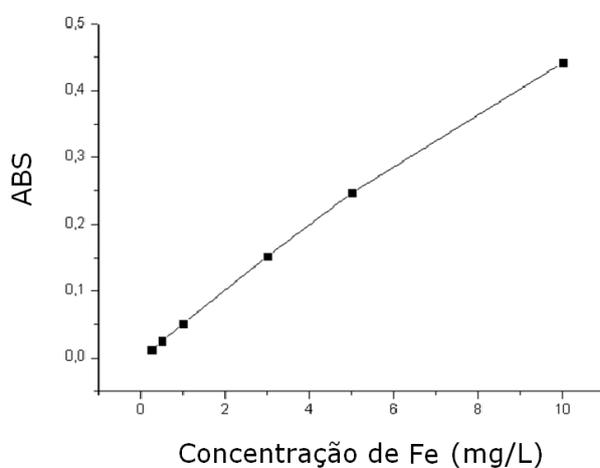
*Statistics*

	Abs
Number of Points	6
Degrees of Freedom	4
Residual Sum of Squares	5,82199E-4
Adj. R-Square	0,99476

*Summary*

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
Abs	0,00877	0,00683	0,04437	0,00144	0,99476

**Figura 19.** Regressão linear efetuada para a curva de Fe pelo OriginPro 8.



**Figura 20.** Curva analítica de Fe obtida pela análise em AAS.

**Tabela 6.** Absorbância dos padrões de Zn e fator RSD.

Padrão	Concentração (mg L <sup>-1</sup> )	ABS	%RSD
1	5,0	0,6507	0,3
2	3,0	0,3904	0,3
3	1,0	0,1301	1,5
4	0,5	0,0651	0,9
5	0,25	0,0325	1,8

*Parameters*

		Value	Standard Error
Abs	Intercept	0,00788	0,00506
	Slope	0,12847	0,0019

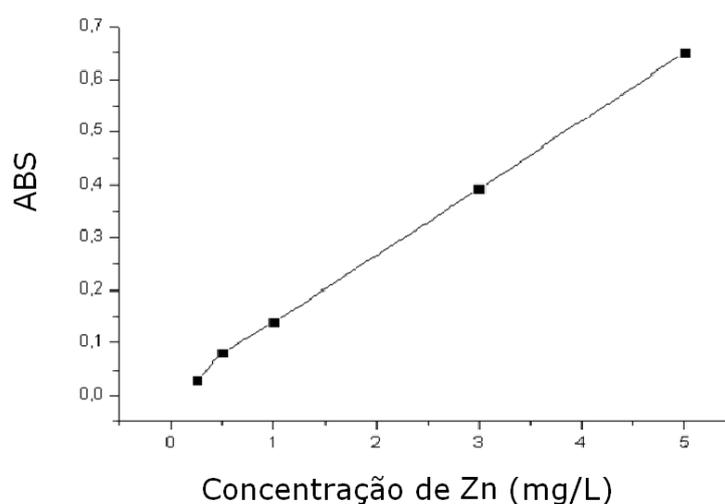
*Statistics*

	Abs
Number of Points	5
Degrees of Freedom	3
Residual Sum of Squares	1,77163E-4
Adj. R-Square	0,99912

*Summary*

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
Abs	0,00788	0,00506	0,12847	0,0019	0,99912

**Figura 21.** Regressão linear efetuada para a curva de Zn pelo OriginPro 8.



**Figura 22.** Curva analítica de Zn obtida pela análise em AAS.

**Tabela 7.** Absorbância dos padrões de Cu e fator RSD.

Padrão	Concentração (mg L <sup>-1</sup> )	ABS	%RSD
1	5,0	0,585	0,6
2	3,0	0,376	0,6
3	1,0	0,127	0,9
4	0,5	0,064	1,1

*Parameters*

		Value	Standard Error
B	Intercept	0,0117	0,01086
	Slope	0,11633	0,00366

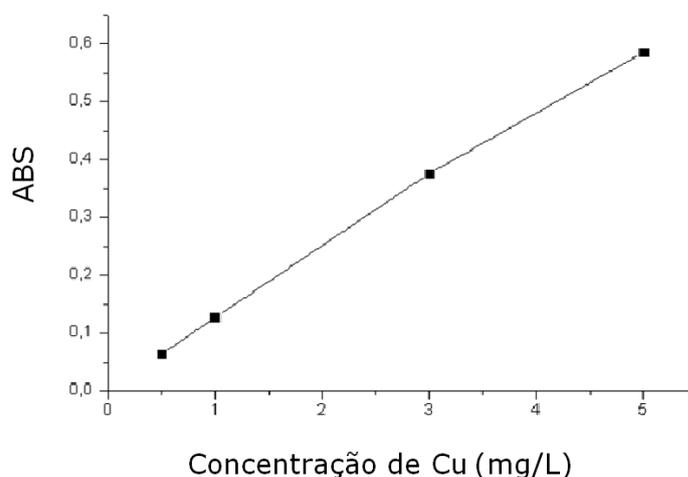
*Statistics*

	B
Number of Points	4
Degrees of Freedom	2
Residual Sum of Squares	3,39576E-4
Adj. R-Square	0,99704

*Summary*

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
B	0,0117	0,01086	0,11633	0,00366	0,99704

**Figura 23.** Regressão linear efetuada para a curva de Cu pelo OriginPro 8.



**Figura 24.** Curva analítica de Cu obtida pela análise em AAS.

Não foi efetuada a leitura do padrão 5 de cobre devido a problemas no equipamento, de forma que na curva relativa a este elemento constam apenas 4 pontos. Pode-se observar que o fator RSD de todos os dados obtidos foi satisfatório, ou seja, abaixo de 2,5%, indicando que os padrões possuem uma matriz adequada para a análise.

O tratamento estatístico efetuado pelo OriginPro 8 traz parâmetros como intercepção e inclinação, que serão utilizados na obtenção das concentrações das amostras, bem como o R quadrado ( $R^2$ ). Em relação a este último, trata-se do coeficiente de determinação, ou medida de ajustamento de um modelo linear, em relação aos valores observados. É uma indicação, em percentagem, da medida explicativa do modelo proposto (UFSC, 2003).

Observa-se que a curva de chumbo apresenta uma excelente representatividade, pois seu  $R^2$  em 1 indica que 100% da variável ABS pode ser explicada pelas regressão modelada pelo OriginPro 8. De modo análogo, a regressão efetuada para a curva de zinco apresentou um  $R^2$  de 0,99912, também considerado muito satisfatório. As curvas de ferro e cobre apresentam, respectivamente,  $R^2$  de 0,99476 e 0,99704, o que indica que a representatividade é menos favorável em relação a esses modelos, mas igualmente aceitável, devido à proximidade com o valor absoluto 1. As curvas descritas acima são automaticamente geradas pelo programa GBC Avanta na interface do AAS e ficam armazenadas para posterior utilização na leitura das amostras.

### 2.3.2. Leitura e interpretação dos dados

Na Tabela 8 estão representados os resultados de concentração, ABS e %RSD, obtidos na análise pela utilização do programa GBC Avanta. As amostras foram listadas de 1 a 6, e as replicatas foram numeradas em algarismos romanos, de I a III. Concentrações consideradas não significativas pelo programa são apresentadas na forma de N.D. (Não Detectado):

**Tabela 8.** Valores de concentração, ABS e %RSD obtidos na leitura das amostras em AAS.

	Concentração (mg L <sup>-1</sup> )			ABS			%RSD			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
<b>Pb</b>	<b>1</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0010	0,0010	0,0009	1,52	2,87	1,95
	<b>2</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0010	0,0008	0,0009	2,05	2,34	1,60
	<b>3</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0005	0,0004	0,0005	2,71	2,24	2,17
	<b>4</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0002	0,0002	0,0002	2,19	2,49	2,83
	<b>5</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0008	0,0002	0,0002	2,34	1,65	1,88
	<b>6</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0005	0,0009	0,0007	2,37	1,61	1,59
<b>Fe</b>	<b>1</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003	0,0001	0,0001	2,76	1,86	1,82
	<b>2</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0008	0,0008	0,0002	2,28	1,77	1,73
	<b>3</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003	0,0004	0,0008	2,52	1,60	1,61
	<b>4</b>	<b>1,88</b>	<b>1,60</b>	<b>1,62</b>	<b>0,0928</b>	<b>0,0790</b>	<b>0,0800</b>	<b>1,19</b>	<b>1,08</b>	<b>1,42</b>
	<b>5</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0008	0,0001	0,0005	2,39	1,66	1,87
	<b>6</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0005	0,0007	0,0009	2,00	1,76	1,97
<b>Zn</b>	<b>1</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0009	0,0005	0,0010	2,59	2,70	2,51
	<b>2</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0005	0,0005	0,0001	2,81	1,96	1,85
	<b>3</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,50</b>	<b>0,0390</b>	<b>0,0380</b>	<b>0,0650</b>	<b>1,04</b>	<b>1,38</b>	<b>1,56</b>
	<b>4</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003	0,0002	0,0002	1,66	2,78	2,87
	<b>5</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0006	0,0010	0,0009	2,89	1,76	2,04
	<b>6</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0008	0,0010	0,0010	2,25	2,04	1,94
<b>Cu</b>	<b>1</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0007	0,0002	0,0010	1,60	2,17	2,24
	<b>2</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0010	0,0007	0,0008	2,63	2,55	1,57
	<b>3</b>	<b>1,40</b>	<b>1,30</b>	<b>1,60</b>	<b>0,1630</b>	<b>0,1170</b>	<b>0,1870</b>	<b>1,89</b>	<b>1,65</b>	<b>1,68</b>
	<b>4</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0006	0,0007	0,0006	2,28	2,31	1,87
	<b>5</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003	0,0005	0,0003	1,91	2,80	2,33
	<b>6</b>	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003	0,0003	0,0004	1,75	1,65	1,88

Observa-se nos dados obtidos que não houve ocorrência de concentrações significativas de chumbo para nenhuma das amostras e replicatas. Os valores de ABS obtidos são muito próximos ou abaixo do limite de detecção do equipamento (0,0003), o que leva a uma grande variação no fator RSD, fenômeno que acontece usualmente quando a amostra é pobre no analito

em questão. Este resultado era esperado, pois as soldas de chumbo utilizadas na empresa recebem tratamento que reduz a volatilização do chumbo, tornando-a menos nociva ao operador. Valores elevados de chumbo indicariam que há um grande risco de contaminação na execução prolongada das atividades nesta empresa, o que não acontece. Desta forma, pela utilização desta solda, aliado ao uso de EPIs, o risco de contaminação por chumbo foi minimizado a níveis seguros de trabalho. Seria interessante a investigação do nível de estanho presente nos amostradores 1 e 2, pois trata-se de uma liga Pb/Sn. No entanto, não foi possível efetuar a leitura para estanho devido à falta de lâmpada apropriada. É importante ressaltar que o nível de chumbo dosado foi relativo às tarefas executadas em uma hora de trabalho. Outro trabalho poderia ser feito para investigar a exposição crônica ao metal, efetuando coletas que simulariam a exposição ocupacional ao longo de um período maior de trabalho. O branco de campo também apresentou resultados negativos para todos os metais, como também era esperado.

Não obstante, foram observados valores de concentração de zinco e cobre para o amostrador 3, bem como níveis de ferro para o amostrador 4. Este resultado condiz com a solda utilizada em cada uma dessas coletas, indicando que o método utilizado foi válido na coleta e análise destes metais no ambiente. Observa-se ainda que a %RSD é satisfatória para todas as amostras que apresentaram concentrações significantes de analito, de modo que o resultado apresentado pelo equipamento é representativo. Os níveis obtidos foram, em média,  $1,70 \text{ mg L}^{-1}$  para ferro,  $0,36 \text{ mg L}^{-1}$  para zinco, e  $1,43 \text{ mg L}^{-1}$  para cobre. Para o balão de 25mL, temos:

$$\text{Ferro: } 1,70 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025\text{L} = 0,0425\text{mg} \quad \text{Equação 9.}$$

$$\text{Zinco: } 0,36 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025\text{L} = 0,0090\text{mg} \quad \text{Equação 10.}$$

$$\text{Cobre: } 1,43 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0,025\text{L} = 0,0358\text{mg} \quad \text{Equação 11.}$$

Estes valores de massa, em mg, são referentes à deposição do metal na coleta total no filtro, ou seja, aos 200,8L de ar analisados. Desta forma, podemos dividir cada valor pelo volume total de ar, obtendo a medida real

de concentração no ambiente de trabalho. Considerando que 200,8L de ar é equivalente a 0,2008m<sup>3</sup>, temos:

$$\text{Ferro: } \frac{0,0425\text{mg}}{0,2008\text{m}^3} = \mathbf{0,2116\text{mg m}^3} \quad \text{Equação 12.}$$

$$\text{Zinco: } \frac{0,0090\text{mg}}{0,2008\text{m}^3} = \mathbf{0,0448\text{mg m}^3} \quad \text{Equação 13.}$$

$$\text{Cobre: } \frac{0,0358\text{mg}}{0,2008\text{m}^3} = \mathbf{0,1783\text{mg m}^3} \quad \text{Equação 14.}$$

Os valores obtidos pelas equações 12, 13 e 14 são as concentrações de ferro, zinco e cobre presentes no ambiente de trabalho no momento da coleta, aos quais os operadores das soldas estão expostos em sua jornada de trabalho. A ACGIH determina como valores limites as concentrações de 10mg m<sup>3</sup> para ferro, 15mg m<sup>3</sup> para zinco, e 1,0 mg m<sup>3</sup> para cobre, em amostras de ar (ACGIH, 2006), de modo que as concentrações obtidas estão todas abaixo do limite de exposição. No Anexo N° 13 da NR 15, o ferro está listado como insalubre médio somente associado à metalurgia de minérios arseniacais, enquanto o zinco e o cobre são considerados insalubres máximos quando em operações de galvanoplastia (BRASIL/MT, 2000). Considerando essas informações, e comparando os valores de concentração obtidos, é possível concluir que a exposição a estes metais na empresa de soldagem é considerada segura, associada ainda com o uso de EPIs.

A Espectrofotometria de Absorção Atômica mostrou-se uma técnica eficiente para a detecção de metais em amostras de ar, seguindo as metodologias sugeridas. O equipamento é de custo menor do que muitos outros também utilizados em análise ambiental, como o ICP-AES, e apresenta ainda menor custo operacional, facilidade de operação. Apesar de sua faixa linear de trabalho ser relativamente pequena, e sobretudo, ser uma análise mono elementar, a AAS apresenta número reduzido de linhas espectrais, que acarreta uma possibilidade bem menor de interferência por sobreposição de linhas, tornando-a bastante útil para análises corriqueiras em laboratório. A

técnica apresenta poucos interferentes, os procedimentos de coleta e análise são simples e eficazes, e os reagentes utilizados não são muito custosos. É preciso que haja manutenção periódica dos equipamentos utilizados para obter resultados reprodutíveis, bem como observar a data de validade dos reagentes.

### 2.3.3 Gerenciamento de resíduos

Após os procedimentos efetuados, existe a preocupação de gerenciamento dos resíduos gerados. É interessante que sejam aplicados métodos simples e de baixo custo, fáceis de ser executados em laboratório e procurando a minimização do impacto ambiental. O tratamento efetuado é indicado pela metodologia da NIOSH 7082.

O equipamento vaporiza as amostras e retém qualquer resíduo no seu próprio coletor, de modo que as soluções injetadas não requerem tratamento. As soluções restantes nos balões, tanto de amostras quanto de padrões, foram recolhidas em um único recipiente, alcançando o volume de aproximadamente 280mL. Como o padrão utilizado é multielementar, não é possível promover a segregação das espécies em solução. Em seguida, foi adicionado um excesso de solução de NaOH 3 mol L<sup>-1</sup>, promovendo a formação de precipitado branco, referente aos hidróxidos de metais presentes no padrão, bem como a precipitação de íons de ferro, cobre e zinco presentes na amostra. As hidroxilas em excesso garantem a precipitação de qualquer metal pesado presente na solução residual (AFONSO, 2003), seguindo como modelo a equação:



O precipitado foi filtrado em papel de filtro faixa preta, e posteriormente secado e armazenado. Alguns sais de metais como o zinco são anfóteros, sendo em parte solubilizados no excesso de OH<sup>-</sup>. Contudo, sua concentração é muito baixa para que seja considerada nociva ao ambiente, de modo que seu descarte pode ser feito pela rede coletora de esgoto (AFONSO, 2003). O pH da solução residual foi ajustado para aproximadamente 7 utilizando gotas de HCl diluído, e em seguida descartada na pia.

## CONCLUSÃO

Os perigos da exposição ocupacional ao chumbo são uma realidade no Brasil e no mundo, de modo que o seu monitoramento não deve ser negligenciado. É importante sejam estimuladas novas pesquisas no intuito de desenvolver tecnologias que minimizem cada vez mais os riscos aos trabalhadores. Também é interessante o constante incentivo e conscientização do uso de EPIs e EPCs em todos os locais de trabalho onde haja algum risco.

O trabalho desenvolvido foi de grande valia para a sumarização de diversos conteúdos desenvolvidos no curso de Química Tecnológica referentes aos estudos de Química Analítica Qualitativa e Quantitativa, Química Analítica Instrumental, Química Ambiental, dentre outros. Também foi possível trabalhar relevantes tópicos em Higiene e Segurança Industrial, bem como Controle e Legislação Ambiental, importantes no aprimoramento de aspectos normativos que fazem parte da vida do profissional de química. A experiência com análise ambiental aplicada à saúde ocupacional abre portas para diversas oportunidades no mercado de trabalho e também para posteriores pesquisas acadêmicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, J. C. Gerenciamento de Resíduos Laboratoriais: Recuperação de Elementos e Preparo Para Descarte Final. **Revista Química Nova**, São Paulo, n.4, v. 26, p.602-612, 2003.

American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH). **TLVs® e BEIs® 2012**: Versão em português. Cincinnati: ACGIH®, 2006.

BRASIL - Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Atenção à saúde dos trabalhadores expostos ao chumbo metálico**. Santa Maria: Editora do Ministério da Saúde, 2006. 44 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 182 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRASIL. Decreto nº 79.094, de 5 de janeiro de 1977. ANVISA. Disponível em: <[www.anvisa.gov.br/hotsite/genericos/legis/decretos/79094.htm](http://www.anvisa.gov.br/hotsite/genericos/legis/decretos/79094.htm)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

DOUNIAS, George *et al.* Acute lead intoxication in a female battery worker: Diagnosis and management. **Journal of Occupational Medicine and Toxicology**, v. 5, n. 19, 2010. Disponível em: <[www.occup-med.com/content/5/1/19](http://www.occup-med.com/content/5/1/19)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

EKVALL, Tomas, ANDRÆ, Anders S.G. Attributional and Consequential Environmental Assessment of the Shift to Lead-Free Solders. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 5, p. 344-353, 2006.

FAUSTO, Lorise. **Exposição ocupacional ao chumbo**. 2009. 55 p. Tese (Pós-Graduação em Enfermagem), UNIVALE, Pato Branco. Disponível em: <[www.corenpr.org.br/artigos/lorise.pdf](http://www.corenpr.org.br/artigos/lorise.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

FONTENELE, A. P. G. **Avaliação dos Processos de Deposição dos Metais Cádmio, Chumbo e Cobre por Águas de Chuva e Material Particulado**. 2006. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas USP, São Paulo. Disponível em: <[www.iag.usp.br/pos/meteorologia/portugues/dissertacoestestes/avaliacao-dos-processos-de-deposicao-dos-metais-cadmio-chu](http://www.iag.usp.br/pos/meteorologia/portugues/dissertacoestestes/avaliacao-dos-processos-de-deposicao-dos-metais-cadmio-chu)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

HARRIS, Daniel C. **Análise química quantitativa**. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

KAJI, Masayuki, NISHI, Yoshikazu. Lead and Growth. **Clinical Pediatric Endocrinology**, v. 4, n. 15, p. 123-128, 2006.

MADUREIRA, Marco Antônio. **Avaliação em Emergência Para Tomada de Decisão na Substituição das Soldas à Base de Estanho e Chumbo**. 2009. 94p. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Paulista, São Paulo.

MOREIRA, F.R., MOREIRA, J.C. A importância da análise de especificação do chumbo em plasma para a avaliação dos riscos à saúde. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 251-260, 2004.

MURATA, Katsuyuki *et al.* Lead Toxicity: Does the Critical Level of Lead Resulting in Adverse Effects Differ between Adults and Children? **Journal of Occupational Health**, n. 51, p. 1-12, 2009.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). **#7082 - Lead by Flame AAS**. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 2ª ed. Disponível em: <[www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7082.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7082.pdf)>. Acesso em: 19 ago, 2013.

\_\_\_\_\_. **#7301 - Elements by ICP (Aqua Regia Ashing)**. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4ª ed. Disponível em: <[www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7301.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7301.pdf)>. Acesso em: 19 ago, 2013.

\_\_\_\_\_. **About NIOSH**. 2013. Disponível em: <[www.cdc.gov/niosh/about.html](http://www.cdc.gov/niosh/about.html)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). **Metal & Metalloid Particulates In Workplace Atmospheres (Atomic Absorption)**. Salt Lake Technical Center, 2002. Disponível em: <[www.osha.gov/dts/slct/methods/inorganic/id121/id121.html](http://www.osha.gov/dts/slct/methods/inorganic/id121/id121.html)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

\_\_\_\_\_. **About OSHA**. 2013. Disponível em: <[www.osha.gov/about.html](http://www.osha.gov/about.html)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

PANTAROTO, Hermano Luis. **Chumbo: Exploração, Uso e Saúde Pública**. Em: XIV Simpósio de Engenharia de Produção - XIV SIMPEP, 2007, Bauru. Anais do XIV Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru : UNESP, v. 1, p. 1, 2007.

ROLSTON, D. D. K. Uncommon Sources and Some Unusual Manifestations of Lead Poisoning in a Tropical Developing Country. **Tropical Medicine and Health**, v. 39 n. 4, p. 127-132, 2011.

SADAO, M. N. Intoxicação por chumbo. **Revista de Oxidologia**, Jan/Fev/Mar, p. 37-41, 2002.

SANTOS, J. F. **Relatório Técnico 26 - Perfil do Minério de Chumbo**. Ministério das Minas e Energia/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2009. Disponível em: <[www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_mineracao\\_brasileira/P17\\_RT26\\_Perfil\\_do\\_Minxrio\\_de\\_Chumbo.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P17_RT26_Perfil_do_Minxrio_de_Chumbo.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

SENAI/CST. **Noções Básicas de Processo de Soldagem e Corte.** Espírito Santo, 2006. Disponível em: <[www.slideshare.net/danilomagalhaes104/apostila-de-solda-senai](http://www.slideshare.net/danilomagalhaes104/apostila-de-solda-senai)> Acesso em: 19 ago. 2013.

SESI. **Legislação comentada: NR 15 - Atividades e Operações Insalubres.** Salvador, 2008. 32 p. Disponível em: <<http://prosst1.sesi.org.br/portal/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A90152A2A15F2A8012A3443F9571CB5>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

SHIRI, Rahman *et al.* Lead Poisoning and Recurrent Abdominal Pain. **Industrial Health**, n. 45, p. 494 - 496, 2007.

SKOOG *et al.* **Fundamentos de química analítica.** 8ª edição. Rio de Janeiro: Thomsom, 2005.

UFSC - Programa de Pós Graduação em Geografia. **Aula 5: Correlação e regressão.** Disponível em: <[www.cfh.ufsc.br/gcn3506/documents/AULA5Regressao.pdf](http://www.cfh.ufsc.br/gcn3506/documents/AULA5Regressao.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2013.