

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE
SEGURANÇA DO TRABALHO**

CÁSSIO GHISONI

**OS RISCOS DO MERCÚRIO NO AMBIENTE DE TRABALHO DA INDÚSTRIA
CATARINENSE DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS E
POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O CASO**

**CRICIÚMA
2013**

CÁSSIO GHISONI

**OS RISCOS DO MERCÚRIO NO AMBIENTE DE TRABALHO DA INDÚSTRIA
CATARINENSE DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS E
POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O CASO**

Monografia apresentada ao Setor de Pós-Graduação da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, para obtenção do título de especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Dal Bó

CRICIÚMA

2013

Dedico esse trabalho aos meus pais, Célio Ghisoni e Maria Emilia.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Marcelo Dal Bó, e a todos que me ajudaram a realizar esse trabalho.

“Educação é aquilo que fica depois que você esquece o que a escola ensinou”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Nos dias atuais a segurança do trabalho vem cada vez mais desempenhando um papel importante no gerenciamento dos processos das organizações. As exigências impostas pela legislação trabalhista, os custos de manutenção das normas de segurança e a preocupação com a saúde do trabalhador vem trazendo discussões relevantes no que diz respeito aos ambientes de trabalho. Nesse contexto, o uso de produtos e/ou agentes tóxicos devem ser evitados ao máximo. Esse trabalho tem como objetivo, o estudo da toxicidade do mercúrio em ambientes da indústria cerâmica catarinense, discutindo formas e métodos para a eliminação e/ou substituição desse agente químico do processo produtivo de cerâmicas de revestimento. O mercúrio é o único metal de transição encontrado na forma líquida a temperatura ambiente. Suas propriedades físicas, como a alta tensão superficial, fazem deste uma substância ideal para a medição da densidade aparente de materiais cerâmicos que ainda estão no estado cru, ou seja, antes do processo de queima, podem ser dissolvidos pela água. O mercúrio é um metal que apresenta um alto grau de risco ao ser humano, podendo penetrar no organismo de várias formas, como: inalação e absorção pela pele (cutânea). Trabalhos anteriores apontam vários métodos alternativos para a medição da densidade aparente de materiais cerâmicos, no entanto, o mercúrio metálico ainda continua sendo usado pelas indústrias cerâmicas na atualidade. Dentre os métodos pode-se citar o método com o uso de água e parafina, membranas com ar, membranas com água, reconstrução volumétrica com laser e absorção de raios-X. Os resultados mostram que esses podem alcançar as exigências impostas durante o processo produtivo de revestimentos cerâmicos. Com isso, este trabalho além de evidenciar a toxicidade do mercúrio metálico, aponta vários outros métodos que podem eliminar esse agente tóxico do processo de produtivo de revestimentos cerâmicos, diminuindo com isso os riscos presentes no ambiente de trabalho da indústria cerâmica catarinense.

Palavras-chave: Indústria cerâmica. Densidade aparente. Mercúrio. Métodos alternativos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas mais comuns de exposição humana ao mercúrio: (a) por inalação no ambiente de trabalho e (b) na odontologia através da amálgama dentária.....	14
Figura 2 – Limites de exposição ao mercúrio nos exames de urina e sangue.....	16
Figura 3 – Intervalo de concentração de mercúrio total e seus compostos em algumas amostras biológicas e ambientais.....	17
Figura 4 – Esquema do ciclo de intoxicação pelo mercúrio.....	19
Figura 5 – Relação entre os sintomas e o tipo de composto de <i>Hg</i>	21
Figura 6 – Distribuição do número e do percentual de trabalhadores expostos ao mercúrio metálico, conforme sinais detectados no exame clínico-neurológico.....	22
Figura 7 – Distribuição do número e do percentual de trabalhadores expostos ao mercúrio metálico, conforme combinação do conjunto de alterações apresentadas nos exames clínico, neurológico, psiquiátrico e psicológico.....	23
Figura 8 – Números do mercado mundial da produção e consumo de revestimentos cerâmicos.....	28
Figura 9 – Fluxograma do processo de fabricação do revestimento cerâmico.....	29
Figura 10 – Distribuição percentual do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos pela indústria brasileira via seca e via úmida.....	30
Figura 11 – Normas de absorção de água para cada tipo de material cerâmico.....	31
Figura 12 – Descrição do método utilizando mercúrio.....	33
Figura 13 – Densímetro: esquema do pedestal rosqueado empregado para emergir a peça na água.....	33
Figura 14 – Comparativo entre os resultados obtidos pelos dois métodos.....	41
Figura 15 – Esquema de funcionamento do método de determinação da densidade aparente por ondas ultrassônicas sem contato.....	37
Figura 16 – Esquema de funcionamento do equipamento de medida de densidade aparente por absorção de raios X.....	38
Figura 17 – Funcionamento do método que emprega a água como líquido de imersão.....	43
Figura 18 – Funcionamento do método que emprega as membranas com ar.....	44
Figura 19 – Funcionamento do método que emprega laser.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 MERCÚRIO: CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES	10
4 RISCOS AMBIENTAIS E TOXICOLOGIA ASSOCIADA AO MERCÚRIO	13
4.1 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	15
4.2 SINTOMAS DA INTOXICAÇÃO POR MERCÚRIO	18
4.2.1 Estudo de Caso: efeitos da exposição ocupacional ao mercúrio em trabalhadores de uma indústria	22
4.3 MEDIDAS DE PREVENÇÃO E SEGURANÇA.....	24
5 A INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS	28
6 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE	35
6.1 MÉTODOS DIRETOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE	36
6.1.1 Ondas Ultrassônicas	36
6.1.2 Absorção de Raios X	37
6.1.3 Absorção de Raios γ	38
6.1.4 Penetrometria	39
6.2 MÉTODOS INDIRETOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE.....	39
6.2.1 Método de Determinação da Densidade Aparente Utilizando Água e Parafina	39
6.2.2 Determinação do Volume dos Poros	42
6.2.3 Medidas Baseadas na Determinação do Volume	42
6.2.4 Método de Determinação a Partir da Massa e do Volume	43
7 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Nos ambientes de trabalho, os profissionais são expostos a diversos tipos de agentes nocivos à saúde e por mais que sejam utilizados os equipamentos de proteção, cumprindo as normas de segurança, a exposição dos trabalhadores aos agentes de riscos podem causar danos à saúde, em alguns casos, de forma irreparável.

A segurança do trabalho tem como objetivo principal zelar pela saúde do trabalhador, prevenir acidentes de trabalho, atenuar a exposição aos riscos e, principalmente, eliminar agentes extremamente perigosos à saúde do trabalhador. Alguns agentes de riscos não são extremamente perigosos, no entanto, outros podem causar danos graves à saúde. Dentre esses agentes nocivos, pode-se citar o Mercúrio (*Hg*), frequentemente utilizado na indústria cerâmica.

O mercúrio é utilizado neste ramo industrial para medição da densidade aparente das peças cerâmicas durante sua produção. A eliminação deste agente é de suma importância devido a sua toxicidade, despesas com equipamentos de proteção, procedimentos de manuseio, riscos à saúde e também relativo aos danos ao meio ambiente (contaminação de rios e/ou lençol freático).

Para eliminação do mercúrio pode-se utilizar alguns métodos. Dentre eles, o método que utiliza água e parafina, que será apresentado e descrito neste trabalho. Também existem novos métodos de medição da densidade aparente sem a utilização do mercúrio que não apresentam riscos à saúde do trabalhador.

Nesse sentido, a proposta deste trabalho é levantar de forma geral as principais aplicações e uso do mercúrio, em especial na indústria cerâmica, apontando os riscos do manuseio deste agente químico à saúde humana. Sugerem-se também alguns “métodos” para a substituição e consequente eliminação do mercúrio do processo produtivo da indústria cerâmica.

Por se tratar de um metal pesado de alta toxicidade é de suma importância estudar alternativas para a eliminação do mercúrio, objetivando diminuir os riscos à saúde do trabalhador e ao meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a toxicologia do mercúrio nos ambientes de trabalho da indústria cerâmica catarinense e apresentar alternativas para a eliminação desse agente tóxico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar informações relativas aos efeitos adversos do mercúrio sobre a saúde dos trabalhadores.
- Estudar alternativas de eliminação do *Hg* do ambiente de trabalho nas indústrias cerâmicas.
- Sugerir a eliminação do *Hg* do ambiente de trabalho na indústria cerâmica.

3 MERCÚRIO: CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

O mercúrio apresenta-se na forma líquida em condições normais de temperatura e pressão, é prateado, brilhante e possui alta tensão superficial. É considerado um metal pesado, tóxico e inodoro (DAL BÓ; NEVES; AMARAL, 2002).

O mercúrio, mais especificamente o sulfeto de mercúrio, era usado como pigmento em desenhos nas cavernas habitadas pelo homem pré-histórico. Logo, as pedras de coloração vermelho-dourada tinham até o início do século XX, finalidade meramente decorativa. Sua nomenclatura se dá em homenagem ao *deus* romano Mercúrio. O símbolo *Hg* vem do latim e significa prata líquida.

Descobriu-se também que o mercúrio dissolvia rapidamente o ouro, caracterizando seu emprego no processo de amalgamação. Além dessas finalidades, acreditava-se que este detinha propriedades medicamentosas responsáveis pela longevidade, com ativos afrodisíacos, era empregado como componente de pomadas em tratamentos de pele ou em cosméticos. Destaca-se, entretanto, que no século XIX, suas propriedades terapêuticas foram questionadas, em face de evidências de seus efeitos tóxicos (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

O metal em estudo pode encontrar-se em distintas formas: o *Hg* é encontrado sob a forma elementar ou metálica (Hg^0), como mercúrio mercurioso (Hg^{+2}) ou como mercúrio mercúrico (Hg^{+1}). O mercúrio elementar (Hg^0) caracteriza-se pelo estado líquido sob temperatura ambiente; é volátil e sob altas temperaturas libera o vapor de mercúrio, um gás tóxico e corrosivo; é estável e pode permanecer na atmosfera por um longo período. Comparado a outros metais, não é considerado um bom condutor de calor, no entanto, configura um bom condutor de eletricidade (FARIAS, 2010).

Quando combinado a outros elementos como cloro (*Cl*), enxofre (*S*) ou oxigênio (*O*), originam-se os chamados compostos inorgânicos ou sais de mercúrio, dentre os quais: a) cloreto de mercúrico ($HgCl_2$), um sublimado corrosivo extremamente tóxico; b) o cloreto mercurioso (Hg_2Cl_2), empregado na medicina; c) o fulminato de mercúrio $Hg(CNO)_2$, usado em explosivos, corrosivo e venenoso; e d) sulfeto de mercúrio (HgS), utilizado como pigmento em tintas, bem como, em instrumental científico, aparatos elétricos e ortodontia (AZEVEDO; CHASIN, 2003; FARIAS, 2010).

Azevedo e Chasin (2003) elencam as propriedades físico-químicas mais relevantes do mercúrio, reunidas no Quadro 1:

Quadro 1 – Propriedades físico-químicas do mercúrio

Propriedades	Valor	Hg
Número atômico	80	
Massa atômica relativa	200,61 u	
Ponto de fusão	-38,9°C	
Ponto de ebulição	356,9°C	
Densidade relativa	13,6 g/mL (água=1 g/mL)	
Gravidade específica	13,456 (20°C)	
Pressão de vapor	9,16 Pa (0,0012 mmHg)	
Tensão superficial	484 dines/cm (25°C)	
Pressão crítica	1,578 atm	

Fonte: Azevedo e Chasin (2003).

Em suma, o mercúrio elementar (Hg^0) é a forma mais volátil, de modo que alguns complexos podem apresentar-se na forma gasosa ($HgCl_2$ e CH_3HgCl). Os compostos de mercúrio possuem solubilidade em água bastante variada: em geral são insolúveis em água e solúveis em ácido nítrico (NASCIMENTO; CHASIN, 2001). O Quadro 2 apresenta algumas formas químicas do mercúrio e suas aplicações.

Quadro 2 – Relação entre a forma química, propriedades e aplicações do mercúrio

Forma Química	Propriedades	Aplicações
Metal	Líquido à temperatura ambiente, expansão volumétrica uniforme em ampla faixa de temperatura, alta tensão superficial, não molha superfícies vítreas.	Aparelhos de medição de pressão e temperatura: termômetros, barômetros e manômetros.
	Baixa resistência elétrica e alta condutividade térmica.	Materiais elétricos e eletrônicos, agente refrigerante.
	Alto potencial de oxidação em relação ao hidrogênio.	Operações eletroquímicas: indústrias de cloro-soda.
	Facilidade de formação de amálgamas com outros metais.	Metalurgia, odontologia, processos extrativos.
Compostos orgânicos	Poder de assepsia por oxidação de matéria orgânica.	Inseticidas, bactericidas e fungicidas.
Compostos inorgânicos	Alta estereospecificidade.	Catálise na indústria de polímeros sintéticos.

Fonte: Miraconi e Bueno (2000).

Na sua forma elementar pode ser obtido por aquecimento do sulfeto de mercúrio (HgS) seguido de condensação e, naturalmente, surge da degradação da crosta terrestre, proveniente de erupções vulcânicas e evaporação dos oceanos. Configuram fontes antropogênicas: geradores de eletricidade a carvão, refinarias, fábrica de adubos, lâmpadas de vapor de mercúrio, pilhas e extração de ouro. Os

incineradores de resíduos hospitalares e urbanos também contribuem fortemente para a emissão de mercúrio no ar (REIS, 2008; FARIAS, 2010).

Segundo Farias (2010), o mercúrio é utilizado em instrumentos de medidas: termômetros e barômetros, em lâmpadas fluorescentes; é empregado ainda como catalisador em reações químicas, em medicamentos, na fabricação de espelhos, detonadores, corantes, dentre outras aplicações. Dal Bó, Neves e Amaral (2002) sugerem complementarmente os seguintes usos:

- Fabricação de aparelhos de medida e de laboratório (termômetros, barômetros, manômetros, densímetros, entre outros);
- Indústria elétrica (fabricação de lâmpadas, inversores de corrente, automáticos, pilhas e acumuladores);
- Indústria de curtumes (preparação de feltros);
- Indústria química (agente catalítico, fabricação dos diferentes compostos de mercúrio);
- Fabricação de escovas com fulminato de mercúrio,
- Fabricação de diversas especialidades farmacêuticas.

Por outro lado, o mercúrio metálico pode ser aplicado na medição da densidade aparente da peça cerâmica crua. Essa aplicação é rotineiramente usada em indústrias de revestimentos cerâmicos e é o foco principal do presente trabalho.

4 RISCOS AMBIENTAIS E TOXICOLOGIA ASSOCIADA AO MERCÚRIO

O contato entre o homem e o mercúrio remonta às civilizações orientais antigas, que já manipulavam o metal. Com a Revolução Industrial e consequente difusão do uso do mercúrio em diversas atividades humanas, evidenciou-se um aumento considerável de sua concentração no ambiente. Seus efeitos toxicológicos são conhecidos há bastante tempo (ACPO, 2002).

Trata-se de um poluente de elevada toxicidade dado seu poder de volatilização, a persistência no ambiente e o efeito cumulativo, passíveis de comprometer seriamente a saúde de pessoas, sobretudo, trabalhadores que lidam com esse metal em seu ambiente de trabalho. As contaminações podem afetar áreas distantes e ainda podem ser percebidas após um longo período, cessado seu uso (ACPO, 2002).

Diante das diretrizes do Programa de Riscos Ambientais (NR-9), o qual associa riscos ambientais a agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho, que em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador, entende-se que o mercúrio é um agente químico.

Mais especificamente, agentes químicos são substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo via respiratória, na forma de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou serem absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão.

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) menciona o mercúrio em uma de suas convenções (n. 42), listando-o como sendo uma substância tóxica, mostrando a preocupação das organizações trabalhistas relativo à periculosidade do mercúrio em seu estado líquido.

Muñoz (2002) afirma que o efeito tóxico dos metais pesados tem sido amplamente descrito na bibliografia. O espectro de toxicidade inclui danos neurológicos, hepatotóxicos, nefrotóxicos, além de efeitos teratogênicos e, ou efeitos mutagênicos. Os riscos da substância têm sido amplamente divulgados e debatidos nos últimos 40 anos, desde que ela atingiu o Japão, em um dos mais sérios incidentes de poluição industrial já registrados na história. Esse episódio ficou conhecido como o acidente da Baía de Minamata, onde houve a morte de centenas

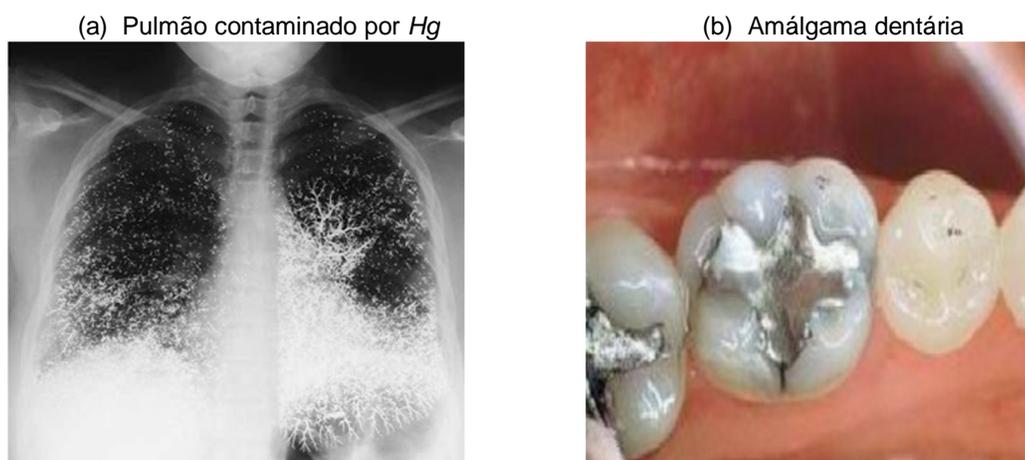
de pessoas e outras tantas foram intoxicadas pelo metal, que foi lançado indiscriminadamente na baía por uma empresa produtora de químicos sintéticos (ACPO, 2002).

Quando ocorre a contaminação de cursos d'água por *Hg*, parte dele se volatiliza na atmosfera e volta a cair em seu estado original com as chuvas. Outra parte é absorvida direta ou indiretamente pelas plantas e animais aquáticos, se estendendo ao longo da cadeia alimentar, bioacumulando-se, e chegando aos seres humanos, quando ingeridos. Além disso, a atividade microbiana transforma o mercúrio metálico em mercúrio orgânico, que é bastante tóxico.

Logo, no ambiente, o *Hg* contamina lençóis freáticos, rios e mares. Entra na cadeia alimentar pela ingestão, por peixes contaminados e chega ao ser humano, afetando diretamente o sistema nervoso central. Em se tratando do ambiente de trabalho, as substâncias simples e os sais de mercúrio são os principais responsáveis pela contaminação ocupacional (RODRIGUES et al, 2011).

Segundo Farias (2010), as duas principais formas de exposição humana por inalação de *Hg* compreendem a exposição ocupacional, no ambiente de trabalho, e por meio de amálgamas dentárias (Figura 1). Entretanto, atualmente, seu uso foi substituído por outro componente ligeiramente menos tóxico.

Figura 1 – Formas mais comuns de exposição humana ao mercúrio: (a) por inalação no ambiente de trabalho e (b) na odontologia através da amálgama dentária



Fonte: Manual de proteção respiratória (s.d.) e Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto (FFUP, s.d.).

As amálgamas dentárias constituem-se por mistura de metais na proporção de 50% de mercúrio metálico, 35% de prata, 9% de estanho e 6% de cobre e vestígios de zinco. Quando inserido nos dentes, solidifica-se em 30 minutos e pode ser inalado na forma de vapor ou deglutido, dissolvido na saliva (FARIAS, 2010).

O ambiente contaminado dos consultórios oferece risco não somente para os profissionais, mas também para os pacientes, que muitas vezes são submetidos a procedimentos demorados ou que necessitam de retornos constantes. Algumas pesquisas constataram que as restaurações de amálgama dentário também são fontes potenciais de contaminação pelo mercúrio, que pode ocorrer através de vapores do metal liberado ou via absorção pela mucosa bucal (RODRIGUES et al, 2011).

4.1 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

A preocupação com a exposição ao mercúrio não é recente nem se restringe somente ao Brasil. Nos Estados Unidos, por exemplo, existem leis vigentes que restringem o uso do mercúrio em ambientes que possuem concentrações de oxigênio menores que 19,5%, além da implementação de várias leis a respeito dos limites permitidos de concentração de gases de mercúrio no ambiente (OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION, 2012).

Ainda que as pessoas estejam continuamente expostas ao mercúrio ambiental, os maiores riscos estão associados, notadamente, à exposição ocupacional. O emprego do *Hg* em diversos setores laborais vem expondo os trabalhadores aos riscos decorrentes e, conseqüentemente, ao comprometimento de sua saúde. Dados antigos revelam que cerca de 70 mil trabalhadores são expostos ao *Hg* nos EUA (ATSDR, 1989; JUNG, 2004).

Segundo Langhan (apud GRIGOLETTO, 2008, p. 537): “Trabalhadores de mais de setenta tipos de indústrias apresentam risco ocupacional com o mercúrio, incluindo-se trabalhadores de fábricas de cloro, soda cáustica, inseticidas, fungicidas, luzes neon, tintas e papéis”.

A ONU, inclusive, adverte para a dificuldade de fixar limites seguros. A legislação brasileira prevê um limite de referência de normalidade de mercúrio na urina (*HgU*) de 5 microgramas de *Hg* por grama de creatinina para a população em

geral. Para o trabalhador, esse valor sobe para 35 microgramas de *Hg* e no ar, o limite é de 40 microgramas de *Hg*.

Tendo em vista que existe diferença entre o mercúrio da dieta e o mercúrio absorvido no local de trabalho, a avaliação quantitativa da exposição dos trabalhadores deve levar em conta tal distinção.

Fernandes e Guimarães (2007) reiteram, em relação ao monitoramento da exposição ao mercúrio, que é necessário estabelecer a diferença entre os riscos associados às atividades laboratoriais e aqueles decorrentes da exposição ambiental.

Segundo a Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR, 1989), a concentração de mercúrio em seres humanos e demais mamíferos pode ser verificada no sangue, na urina, nos tecidos do corpo, no cabelo, no leite do peito e no cordão umbilical. Dentre diversos métodos, o mais utilizado é o Vapor a Frio, pois concentrações ínfimas podem ser detectadas com precisão e segurança. A Figura 2 apresenta os limites para o mercúrio nas análises de urina e sangue.

Figura 2 – Limites de exposição ao mercúrio nos exames de urina e sangue

Urina de 24 horas	
de 0,00 a 0,01 mg	não tóxico (acidental)
de 0,02 a 0,09 mg	perigo de intoxicação
de 0,010 a 0,80 mg	intoxicação crônica
acima de 1 mg	intoxicação aguda
acima de 2 mg	intoxicação subaguda

Fonte: TOXICOLOGIA HUMANA E GERAL. Dilermando Brito Filho, Segunda edição, Rio de Janeiro 1988.

Sangue	
de 0,00 a 0,1 mg/l	não tóxico
acima de 10 mg/l	intoxicação

Fonte: TOXICOLOGIA HUMANA E GERAL. Dilermando Brito Filho, Segunda edição, Rio de Janeiro 1988.

Fonte: Brito Filho (1988 apud Equipe NRFacil, s.d.).

Quando se trata de exposição ao mercúrio elementar por um longo período, as amostras de urina são mais confiáveis. No entanto, para avaliar exposições em curto prazo, as amostras de sangue são mais recomendadas. A quantidade de concentração de mercúrio no sangue reflete a sobrecarga total do organismo ao mercúrio. Por outro lado, a medida urinária de mercúrio fornece a identificação rápida de indivíduos com níveis elevados de mercúrio (NALEWAY et al, 1991).

Segundo Jung (2004), não há um método ideal para detecção dos riscos de contaminação pelo mercúrio elementar. Afinal, as concentrações individuais podem variar muito, de um dia para o outro. Por isso, é conveniente realizar um monitoramento frequente em trabalhadores expostos a esse metal. Muitos fatores, como a alta volatilização e a alta toxicidade aliada a baixas concentrações, exigem testes bastante sensíveis e precisos para determinação do *Hg*. O método analítico é selecionado conforme o tamanho a natureza da amostra e o nível da concentração esperado (Figura 3).

Figura 3 – Intervalo de concentração de mercúrio total e seus compostos em algumas amostras biológicas e ambientais

Solo	Homem	Ar	Água da Chuva	
Total < 200µg/g (500µg/g)	Sangue Total 0,1-5ng/mL (10-300ng/mL)	Total 0,5-10ng/m (0,7-20 µg/m)	Total 1-6ng/L (até 500 mg/L)	
Hg ^o ?	CH ₃ Hg ⁺ 10-95%	Hg ^o 70-99%	Hg ^o ?	
(CH ₃) ₂ Hg < 0,1%	Urina Total < 1,5ng/mL	(CH ₃) ₂ Hg 0,1-0,3%	(CH ₃) ₂ Hg ?	
CH ₃ Hg ⁺ < 1%	CH ₃ Hg ⁺ < 1%	CH ₃ Hg ⁺ 0-5%	CH ₃ Hg ⁺ < 30%	
	Cabelo Total 0,1-2µg/g (2-300µg/g)	Hg ^o 0,1-5%	Hg ^o ?	
	CH ₃ Hg ⁺ 70-100%			
Águas	Costeiras	Mar Aberto	Doce	Organismos Aquáticos
Total	2-15ng/L (até 100ng/L)	0,1-1ng/L	0,1-3ng/L (até 100ng/L)	Peixe de água fresca (músculo)
Hg ^o	< 1%	1-30%	?	Total 0,2-1µg/g
(CH ₃) ₂ Hg	?	1-25%	?	(até 7 µg/g)
CH ₃ Hg ⁺	< 10%	< 10%	< 30%	CH ₃ Hg ⁺ 70-100%
				Peixe marinho (músculo)
				Total 0,01-1,5µg/g (até 50 µg/g)
				CH ₃ Hg ⁺ 60-100%
		Sedimento		
		Total 50-100ng/g (1-500 µg/g)		
		Hg ^o ?		
		(CH ₃) ₂ Hg < 0,5%		
		CH ₃ Hg ⁺ ?		

Fonte: (HORVAT, 1996).

Para Foá (apud ZAVARIZ; GLINA, 1993), há uma vulnerabilidade individual bastante significativa nos grupos ocupacionalmente expostos. A relação entre a exposição diária (avaliada pela concentração de mercúrio ambiental) e

mercúrio na urina ou no sangue, em um mesmo dia, é muito pobre e em alguns casos, inexistente. Tal evidência prova que a concentração tanto na urina, quanto no sangue, não reflete, ao fim da jornada de trabalho, a exposição real ocorrida naquele dia.

Portanto, para a detecção dos efeitos do *Hg* sobre a saúde ocupacional, avaliações médicas devem ser realizadas antes e depois da exposição, quando determinados postos de trabalho são suspeitos de oferecer riscos aos trabalhadores. A frequência de avaliação deve levar em conta todo o período de trabalho, ou seja, de exposição. Trabalhadores submetidos a atividades de alta exposição devem ser submetidos a exames neurológicos (MANUAL DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA, s.d.).

De acordo com o manual supracitado, tratamentos de primeiros socorros são na maioria das vezes, ineficazes, quando a intoxicação ataca os pulmões. Evidentemente, o tratamento de indivíduos expostos ao vapor de mercúrio em altas concentrações, requer especialistas e medicamentos específicos.

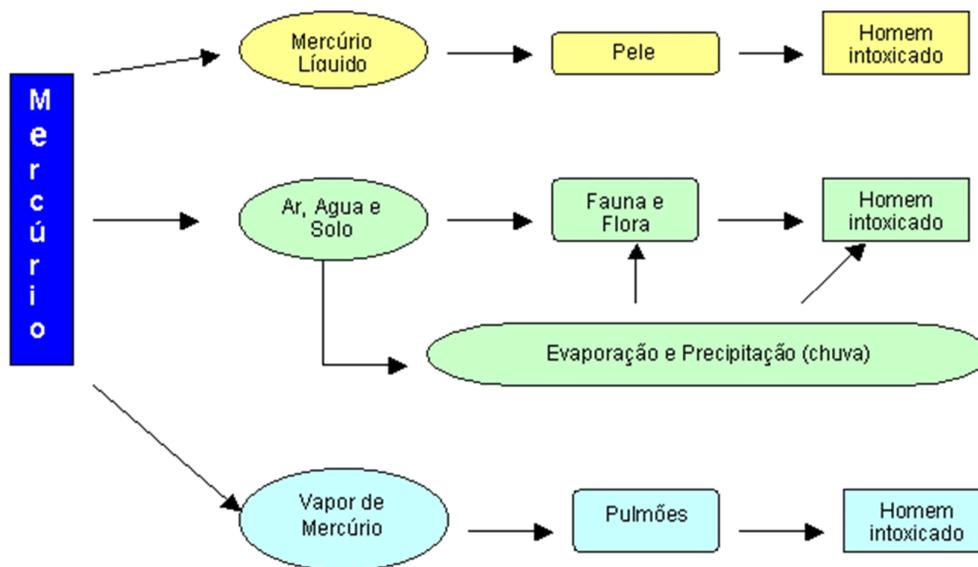
4.2 SINTOMAS DA INTOXICAÇÃO POR MERCÚRIO

As vias de intoxicação pelo ser humano caracterizam-se pela inalação, ingestão e percutânea. O mercúrio, quando inalado, ingerido ou em contato, pode causar irritações na pele, nos olhos e nas vias respiratórias. Os sintomas da intoxicação por vapor de mercúrio são diversos: dor de estômago, diarreia, tremores, depressão, ansiedade, gosto de metal na boca, dentes moles, sangramento na gengiva, insônia, falta de memória, fraqueza muscular, nervosismo, mudanças de humor, agressividade, falta de atenção (FARIAS, 2010).

As principais formas de *Hg* que implicam em problemas de saúde aos seres vivos são: o mercúrio elementar, compostos inorgânicos, sobretudo, o cloreto de mercúrio (*HgCl*) e compostos orgânicos, como o metil mercúrio ($CH_3 Hg^+$). O mercúrio metálico encontra-se, basicamente, no ambiente ocupacional onde os trabalhadores são expostos à intoxicação crônica por via inalatória e, em alguns casos, aguda, quando ocorrem vazamentos acidentais de alta pressão.

A Figura 4 ilustra as formas de intoxicação pelo mercúrio, considerando o ser humano, a flora e a fauna.

Figura 4 – Esquema do ciclo de intoxicação pelo mercúrio.



Fonte: (Equipe NRFacil, s.d.).

Quando é absorvido, o mercúrio passa ao sangue onde é oxidado na forma de compostos solúveis, que se combinam às proteínas, sais e álcalis dos tecidos. Os compostos solúveis podem ser absorvidos pelas mucosas; os vapores por via inalatória; e os insolúveis, entram em contato pela pele e pelas glândulas sebáceas. Na medida em que o mercúrio passa ao sangue, chega até os rins, fígado e sangue, medula óssea, parede intestinal, parte superior do aparelho respiratório, mucosa bucal, glândulas salivares, cérebros, ossos e pulmões.

Quando em vapor ou finamente fragmentado em poeiras, o mercúrio causa uma intoxicação designada por “hidrargirismo”. Esta intoxicação crônica manifesta-se por: estomatite, tremor associado a um estado de rigidez muscular (que se acentua na medida em que a intoxicação aumenta) e pode originar uma ataxia cerebrosa, câibras muito dolorosas e, eventualmente, alterações na voz. Pode ocorrer ainda, perigo de envenenamento emitindo vapores tóxicos especialmente quando aquecido. Apresentando incompatibilidade com ácidos fortes.

A inalação de vapores pode causar tosse, dores no tórax, náuseas e vômitos. Efeitos crônicos de exposição prolongada podem ocasionar danos ao fígado, aos rins e ao sistema nervoso central. A concentração do metal no cérebro, fígado e rins, ocasiona um efeito venenoso. Os principais sintomas são: dores de cabeça, tremores, perda de apetite, bolhas na pele e perda de memória. O mercúrio relaciona-se a danos no cérebro e no sistema nervoso, afetando linguagem, atenção e memória. As intoxicações por mercúrio variam conforme o nível: aguda, subaguda e crônica, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Sintomas associados à intoxicação aguda e crônica por mercúrio

Intoxicação aguda	Intoxicação crônica
Aspecto cinza escuro na boca e faringe	Transtornos digestivos
Dor intensa	Transtornos nervosos
Vômitos (podem ser até sanguinolentos)	Caquexia
Sangramento nas gengivas	Estomatite
Sabor metálico na boca	Salivação
Ardência no aparelho digestivo	Mau hálito
Diarreia grave ou sanguinolenta	Inapetência
Inflamação na boca (estomatite)	Anemia
Queda dos dentes e ou dentes frouxos	Hipertensão
Glossite	Afrouxamento dos dentes
Tumefação da mucosa da gengiva	Problemas no sistema nervoso central
Nefrose nos rins	Transtornos renais leves
Problemas hepáticos graves	Possibilidade de alteração cromossômica
Pode causar até morte rápida (1 ou 2 dias)	

Fonte: (Equipe NRFacil, s.d.)

Referente à exposição crônica, há um quadro clínico conhecido como “mercurialismo crônico”, característico de intoxicações por mercúrio inorgânico na forma elementar. São, essencialmente, alterações provocadas nos sistemas nervoso central, autônomo e periférico, representadas por tremores, sobretudo, nos dedos, além de distúrbios vasomotores. A Figura 5, por sua vez, apresenta uma síntese dos achados clínicos nos casos de intoxicação por mercúrio, de acordo com o tipo de composto envolvido.

Figura 5 – Relação entre os sintomas e o tipo de composto de Hg

Indicativos	Hg ^o (metálico, elementar)	Sais orgânicos	Compostos orgânicos
Vias de exposição preferências	Inalação (via oral eventualmente)	Digestiva	digestiva dérmica
Distribuição tecidual preferencial	SNC Rins	Rins	SNC rins SNP
Excreção predominante	Renal	Renal	• fecal • < renal
Sinais e Sintomas			
• SNC	tremor + eretismo	-	tremor, ataxia, disartria, parestesias
• Olhos	mercurialentis	-	visão tunelar
• Aparelho respiratório	pneumonite química	irritação, corrosão, sangramento	-
• Trato gastrointestinal	-	irritação, corrosão, sangramento	-
• Rins	insuficiência renal crônica	insuficiência renal aguda (necrose tubular)	lesão tubular crônica
• Terapêutica	BAL; DMPS; DMSA	BAL; DMPS; DMSA	DMSA; resinas tióis

Fonte: Modificado de SUE, 1994 (apud ANVISA, s.d.).

O tremor de extremidades crônico é detectado em um primeiro momento, nos dedos das mãos. Consecutivamente, acomete também as pálpebras, a língua, seguindo para os membros, superiores e inferiores. É o sintoma mais comum do mercurialismo crônico. A ocorrência de tremor necessita de um tempo bastante extenso de exposição, algo entre 8 e 10 anos. Esse quadro clínico é classificado em graus, de acordo com os estágios sucessivos de gravidade dos tremores.

- Grau 1 – leve tremor estático; dificilmente o paciente percebe o tremor com algo incômodo, pois não atrapalha seus movimentos rotineiros ou atividades corriqueiras.
- Grau 2 – tremor estático, em grau mais intenso e evidente; pode haver perturbação moderada da atividade muscular motora delicada, comprometendo determinadas atividades.
- Grau 3 – nível em que o tremor perturba claramente as atividades motoras rotineiras, como a escrita, o manuseio de copos e xícaras, etc.
- Grau 4 – tremor intenso, dificultando a realização de movimentos mais grosseiros e amplos.
- Grau 5 – tremor bastante intenso e generalizado, impedindo as mais simples atividades cotidianas.

4.2.1 Estudo de Caso: efeitos da exposição ocupacional ao mercúrio em trabalhadores de uma indústria

Zavariz e Glina (1993) realizaram um estudo sobre os efeitos da exposição ao mercúrio em trabalhadores de uma indústria de lâmpadas elétricas. Embora este trabalho trate dos riscos do mercúrio em indústrias cerâmicas, é interessante apresentar resultados publicados em meio científico, sobre a problemática em questão, visto que os efeitos da exposição ocupacional ao mercúrio são os mesmos. A Figura 6 apresenta os sinais detectados nos exames clínicos e neurológicos e a respectiva distribuição do número e percentagem de trabalhadores expostos ao mercúrio.

Figura 6 – Distribuição do número e do percentual de trabalhadores expostos ao mercúrio metálico, conforme sinais detectados no exame clínico-neurológico

Sinais Detectados	Nº	%
Tremores	69	75,82
Hipertensão Arterial	50	54,95
Faringite	47	51,65
Amigdalite	43	47,25
Conjuntivite	35	38,46
Hepatomegalia	20	21,98
Linha Azul na Margem Alveolar	16	17,58
Arritmia Cardíaca	14	15,38
Edema de Membros Inferiores	14	15,38
Sopro Sistólico de Foco Mitrál	12	13,19
Depósitos Gengivais	8	8,79
Ulcerações Orais	8	8,79
Ausculta Pulmonar Alterada	5	5,49
Dor à Palpação da Região Epigástrica	4	4,40
Alterações Cutâneas	4	4,40
Alterações de Sensibilidade	2	2,20
Nistagmo Multidirecional Bilateral	1	1,09
Espondilite Anquilosante	1	1,09
Extração Renal	1	1,09
Punho Percussão Positiva	1	1,09
Dentes Moles	1	1,09
Alterações de Reflexos	1	1,09
Edema Gengival	1	1,09

Fonte: (ZAVARIZ; GLINA, 1993, p. 126).

Os autores determinaram como objetivo, verificar os efeitos da exposição ao mercúrio metálico sobre a saúde de trabalhadores. Referente aos procedimentos metodológicos, foram realizadas visitas à fábrica e analisados os exames de 91 profissionais, aos quais foram submetidos às avaliações clínicas, neurológicas, psiquiátricas e psicológicas.

A avaliação clínica constou do preenchimento de um prontuário previamente elaborado e da realização de exames: aparelho gastrointestinal, renal, cardiocirculatório, sistema hematopoiético e aparelho auditivo. A avaliação neurológica compreendeu o diagnóstico de alterações de ordem motora, sensibilidade térmica, dolorosa e tátil, dos reflexos, movimentos, força muscular, equilíbrio, articulação das palavras, entre outros quesitos. Quanto à avaliação psiquiátrica e psicológica, estas foram realizadas por meio de entrevistas e com o auxílio de testes ou fichas. A Figura 7 mostra uma síntese de todas as avaliações.

Figura 7 – Distribuição do número e do percentual de trabalhadores expostos ao mercúrio metálico, conforme combinação do conjunto de alterações apresentadas nos exames clínico, neurológico, psiquiátrico e psicológico

Alterações Combinadas aos Exames	Trabalhadores	
	Nº	%
Clínico, Neurológico, Psiquiátrico, Psicológico	45	58,44
Clínico, Neurológico, Psicológico	9	11,69
Neurológico, Psiquiátrico, Psicológico	7	9,09
Neurológico, Psicológico	6	7,79
Clínico, Psiquiátrico, Psicológico	4	5,19
Psiquiátrico, Psicológico	3	3,90
Clínico, Psicológico	2	2,60
Clínico, Neurológico	1	1,30
Total	77	100,00

Fonte: (ZAVARIZ; GLINA, 1993, p. 128).

Do total de trabalhadores avaliados, a grande maioria (83; 91,21%) eram do sexo masculino, com faixa etária variável entre 20 e 65 anos e tempo de exposição entre quatro meses a trinta anos. Inclusive, diagnosticou-se que, com tempo de exposição de três anos, 38 (49,35%) trabalhadores encontravam-se intoxicados. Entretanto, considerando o período de quatro meses a trinta anos, o número de trabalhadores intoxicados foi de 77, dos 91 analisados, correspondendo a cerca de 85% da amostra trabalhada.

Os autores concluíram que estudos desse tipo são muito importantes, sobretudo, pela irreversibilidade dos danos associados à intoxicação mercurial, salientando sobre a necessidade de programas mais eficazes de prevenção. É nesse cenário que atua o engenheiro de segurança do trabalho e conforme a proposta da presente pesquisa, não basta somente elaborar e executar programas de controle e prevenção relacionados à exposição ocupacional ao mercúrio, pois é possível, por meio de alternativas, substituí-lo em determinados processos produtivos.

4.3 MEDIDAS DE PREVENÇÃO E SEGURANÇA

A prevenção da intoxicação por mercúrio começa com a identificação das fontes potenciais e suspensão da produção ou isolando a toxina para que nenhum trabalhador entre em contato com o mercúrio. Estas situações são normalmente encontradas em indústrias de utensílios de mercúrio ou ambientes que são expostos, exigindo tanto a assistência corporativa industrial e governamental para criar maneiras de evitar a exposição às formas de mercúrio.

Teixeira (2011) cita como riscos oferecidos por um laboratório químico, a absorção cumulativa de pequenas quantidades de substâncias presentes na atmosfera laboratorial; a contaminação em escala maior por acidentes com produtos químicos; e a má utilização de equipamentos ou materiais. A autora esclarece ainda, que ao entrar no laboratório, o trabalhador deve estar atento às regras e procedimentos relativas a sua segurança e aos demais colegas. No entanto, por serem simples, por vezes, são desprezadas no cotidiano laboratorial.

Recomenda-se o uso de guarda-pó, preferencialmente, branco, manga longa e confeccionado em algodão. Pessoas com cabelos compridos devem mantê-los presos para evitar o contato com materiais tóxicos. Os trabalhadores devem tomar conhecimento das saídas de emergência e da localização dos extintores de incêndio, da caixa de primeiro socorros, do chuveiro de emergência e demais equipamentos de proteção coletiva (TEIXEIRA, 2011).

Dal Bó, Neves e Amaral (2002, p. 43/44) recomendam as seguintes medidas de prevenção e segurança nos ambientes de trabalho que contenham mercúrio:

- Os locais de trabalho e de armazenagem devem ter o solo e as paredes em material liso e impermeável, sem fissuras ou juntas porosas, com cantos arredondados e bordos elevados. Além disso, devem ter uma pequena inclinação que conduza a um rego com alçapão de escoamento;
- Os postos ou locais de trabalho em que se utilize o mercúrio e seus compostos devem ser separados dos restantes;
- Deve ser previsto um sistema de aspiração dos vapores e poeiras de mercúrio na sua fonte. Caso não seja possível, então o trabalho deverá ser efetuado em caixas estanques;
- Deve existir um sistema de ventilação geral com bocas de aspiração ao nível do solo;
- Em caso de derrame de mercúrio, o metal deve ser imediatamente recolhido, quer através de aspiração, quer com produtos de congelação (gelo seco) ou de amalgamação (aparas de zinco, pó de zinco ou de cobre);
- Ao despejar, trasfegar ou encher recipientes com mercúrio, deve utilizar-se um sistema fechado e com aspiração, especialmente previsto para o efeito;
- Os recipientes que contém mercúrio metálico devem estar rolhados ou deverão conter água, óleo ou parafina em quantidade suficiente para cobrir o metal, além disso, tais recipientes devem ser armazenados em local fresco e ventilado;
- Não se deve aquecer diretamente o mercúrio, a não ser em local próprio e com aspiração de vapores potente;
- Os locais de trabalho devem ser limpos diariamente, de forma sistemática;

- Quando não seja possível uma proteção coletiva e eficaz, devem ser postas à disposição dos trabalhadores cogulas com adução de ar puro – as máscaras respiratórias, com filtro, não são aconselháveis;
- O pessoal deve ser elucidado acerca dos riscos postos pela manipulação do mercúrio e seus compostos;
- Deve ser proibido fumar, comer e beber nos locais de trabalho;
- Os trabalhadores devem observar uma rigorosa higiene pessoal antes de cada refeição ao término do trabalho;
- Ao lidar com mercúrio recomenda-se o uso de luvas com canhão comprido e fato de macaco sem bolsos nem dobras,
- Devem ser efetuados exames médicos de pré-admissão e exames periódicos de despistagem do hidrargirismo.

O controle dos trabalhadores expostos a esse metal nas mais variadas atividades em que são empregados ou produzidos, deve ser feito por meio da apuração simultânea de dois grandes conjuntos de medidas: medias de ordem técnica e medidas de ordem médica ou de saúde.

a) Medias de ordem técnica (AZEVEDO; CHASIN, 2003; FERNANDES; GUIMARÃES, 2007):

- Avaliação contínua da concentração de vapores/poeiras de mercúrio e seus derivados no ambiente de trabalho;
- Substituição, sempre que possível, do *Hg* por substâncias menos nocivas;
- Nos processos industriais onde o *Hg* se faz presente, deve-se evitar a inalação ou o contato com a pele;
- Orientar os trabalhadores sobre os riscos associados ao mercúrio e a importância de uso dos equipamentos de proteção individual;
- Em indústrias onde o mercúrio metálico é utilizado, deve-se tomar cuidado com seu acúmulo em rachaduras ou em cantos das mesas de trabalho,

- Confinar as operações com mercúrio a ambientes fechados, enclausurados, com sistemas adequados de exaustão do ar.

b) Medias de ordem médica ou de saúde AZEVEDO; CHASIN, 2003; FERNANDES; GUIMARÃES, 2007):

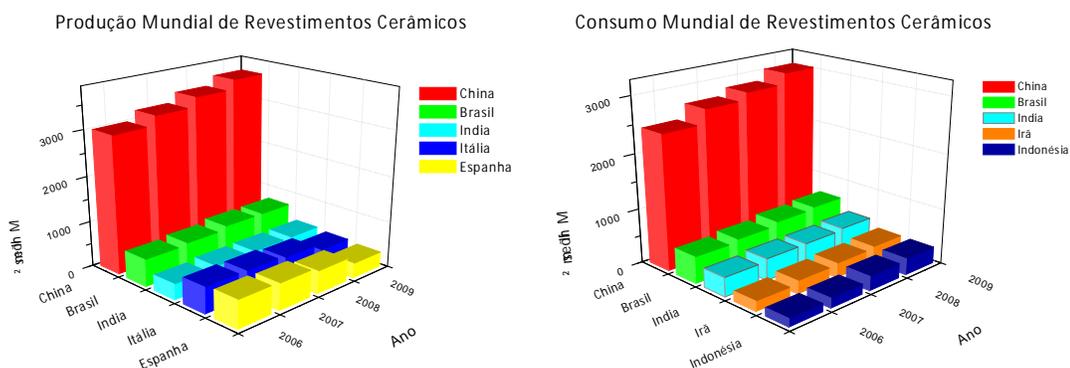
- Exame médico pré-admissional – é de suma importância a realização de um exame clínico laboratorial detalhado, antes de admissão do trabalhador, quando este se submeter à exposição ao Hg. Devem ser avaliadas as funções: pulmonar, hepática, renal, digestiva, a pele e o sistema nervoso. Recomenda-se, logicamente, que indivíduos que já tenham alguma alteração nos órgãos citados não sejam admitidos para atividades associadas ao uso ou produção de mercúrio.
- Exame médico periódico – o médico do trabalho deve observar a ocorrência de lesões gengivais, alterações neurológicas, como tremores, alterações oculares. Logo, são avaliações muito importantes: diagnóstico da condução nervosa, os testes neuro-comportamentais, além dos testes cognitivos.

5 A INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

O segmento de revestimentos cerâmicos se insere no ramo de produtos provenientes de minerais não metálicos da indústria de transformação, compondo juntamente com outras indústrias – cerâmica vermelha, sanitários, refratários, indústria cimenteira e vidreira – o grande complexo da construção civil.

De acordo com Cabral Junior et al (2010), o Brasil ocupa a segunda posição tanto como produtor, quanto consumidor mundial de revestimentos cerâmicos, superado somente pelo mercado chinês, em termos quantitativos (Figura 8). Cita-se, inclusive, Santa Gertrudes (SP) e Criciúma (SC) como os dois *clusters* brasileiros de produção de revestimentos cerâmicos mais consolidados.

Figura 8 – Números do mercado mundial da produção e consumo de revestimentos cerâmicos



Fonte: (ANFACER, 2012).

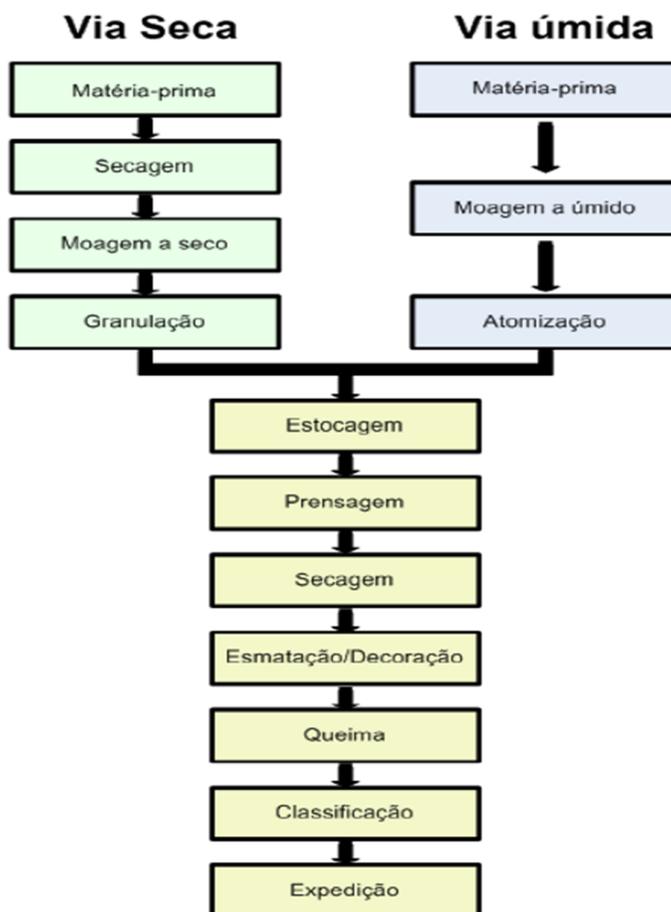
O parque industrial brasileiro de revestimentos cerâmicos constitui-se por 94 empresas, com 117 plantas industriais e capacidade instalada estimada em 790 milhões de m²/ano, com a produção centralizada nos eixos sul e sudeste. Na região de Criciúma (SC) localizam-se empresas de destaque nacional em qualidade, *design* e exportação.

Bustamante e Bressiani (2000) avaliam que o Brasil detém um importante parque fabril no segmento cerâmico, com produtos de alta qualidade e preços competitivos; possui praticamente todas as matérias-primas necessárias em abundância, recursos técnicos e gerenciais altamente qualificados, além de uma razoável infraestrutura de pesquisa.

Da mesma forma, Cabral Junior et al (2010) sinalizam, no que se refere aos fatores que combinados permitiram a expansão e consolidação dos *clusters* de revestimentos cerâmicos brasileiros, como fatores responsáveis: a disponibilidade de matérias-primas, insumos energéticos, a proximidade de mercados consumidores e a capacitação local prévia de trabalhadores e empresários.

Os autores supracitados enunciam que uma característica típica da indústria de revestimentos cerâmicos brasileira compreende o emprego de dois processos produtivos distintos: a via seca e a via úmida. Os dois modos (Figura 9) se diferenciam pela forma como o revestimento cerâmico é preparado.

Figura 9 – Fluxograma do processo de fabricação do revestimento cerâmico

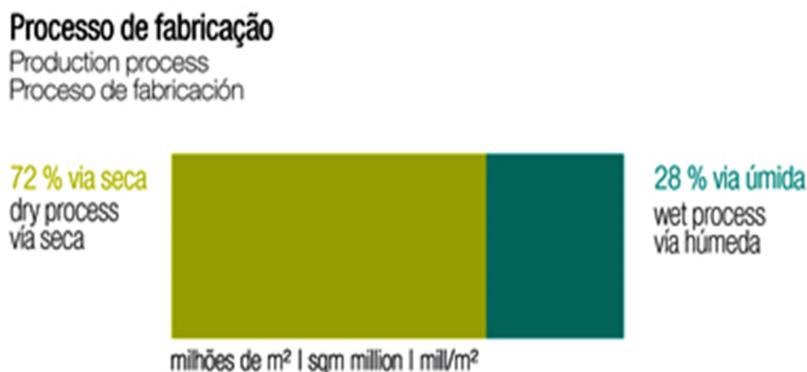


Fonte: (TEIXEIRA, 2011, p. 6).

No processo via seca, não há adição de água durante a moagem das matérias-primas. No processo via úmida, no entanto, há adição de água durante a moagem, obtendo uma mistura mais homogênea e com menor tamanho de partícula.

Conforme Cabral Junior et al (2010), as indústrias brasileiras que operam por via seca utilizam uma massa formada por argilas de queima avermelhada, levemente umidificadas, encaminhadas as demais etapas do processo cerâmico. Em contrapartida, os revestimentos cerâmicos obtidos via úmida são de base preferencialmente clara, formulados com matérias-primas minerais que se constituem por materiais fundentes, inertes e formadores de vidro. A Figura 10 mostra que a produção brasileira de revestimentos cerâmicos se dá em sua maioria via seca, em termos quantitativos.

Figura 10 – Distribuição percentual do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos pela indústria brasileira via seca e via úmida



Fonte: (ABCERAM).

Segundo Teixeira (2011), o controle de qualidade é indispensável em qualquer processo. Na indústria cerâmica, nas diversas etapas do processo produtivo, são realizados ensaios com a finalidade de garantir a conformidade do produto final. Nas etapas de moagem, granulação e atomização, determinam-se a dimensão e a distribuição das partículas que compõem a amostra através da análise granulométrica.

Na etapa de queima, ocorrem variações nas características geométricas das placas cerâmicas devido às alterações físico-químicas sofridas pelo esmalte e pelo suporte cerâmico, formado pela mistura das argilas. As referidas características

constam na NBR 13818, a qual especifica as tolerâncias das dimensões e fornece os limites máximos para o esquadro, a curvatura, o empenamento e a variação de espessura.

A absorção de água é um dos parâmetros utilizados para classificar as placas cerâmicas. Geralmente, quanto mais baixa for a absorção de água, maior é a resistência mecânica do produto. A Figura 11 apresenta a faixa de valores que determinam a classificação do produto cerâmico em relação ao percentual de absorção de água.

Figura 11 – Normas de absorção de água para cada tipo de material cerâmico

Grupo	Absorção de Água (%)	Aplicações Residenciais
B1a	0,0 - 0,5	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Porcelanato)
B1b	0,5 - 3,0	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Grés)
B1Ia	3,0 - 6,0	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Semi-Grés)
B1Ib	6,0 - 10	Pisos, Paredes – ambientes externos e internos (Semi-Poroso)
BIII	Acima de 20	Paredes (Azulejo)

Fonte: (CABRAL JUNIOR et al, 2010, p. 9).

No caso de placas para revestimento de locais que necessitam de resistência mecânica maior, onde trafegam veículos pesados ou que recebem cargas pesadas, determina-se o Módulo de Resistência à Flexão e Carga de Ruptura (MRF). Esse parâmetro também está relacionado à absorção de água pelo produto. Para verificar a tendência à gretagem, sobretudo, quando produto se destina ao revestimento de ambientes úmidos, verifica-se a Expansão por Umidade (EPU). Para tanto, a placa é submetida a uma pressão de vapor de 5 atm por um período de duas horas.

Há ainda, os ensaios de resistência ao manchamento e resistência ao ataque químico, cujo objetivo é verificar a capacidade que a superfície da placa possui de não alterar sua aparência, quando em contato com produtos químicos diversos.

O controle de qualidade das propriedades físicas da peça cerâmica requer o uso do mercúrio, por meio de ensaios de laboratório para obtenção da densidade aparente do suporte cru. Este é empregado no setor de prensas, onde as

peças são conformadas pelo processo de prensagem. Utiliza-se o mercúrio, tendo em vista sua capacidade de não molhar a peça cerâmica, que nesse momento ainda se encontra no estado cru e pode ser dissolvida pela água.

A determinação da densidade aparente é indispensável para o acompanhamento do grau de compactação dos revestimentos cerâmicos. Fonseca (2000) pontua que as variações da densidade aparente da peça podem conduzir a contrações diferenciadas, traduzidas em diferenças dimensionais, curvaturas, entre outras. De acordo com Dal Bó, Neves e Amaral (2002, p. 42):

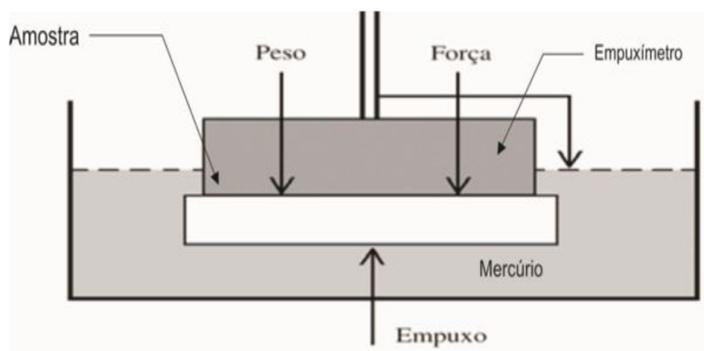
A densidade aparente junto com a resistência mecânica, é uma das propriedades mais importantes da peça cerâmica prensada, afetando o comportamento da peça em diferentes etapas do processo cerâmico e influenciando de maneira decisiva na contração linear, absorção de água, deformação pirolástica e é também um fator crucial para a resistência mecânica da peça.

Amorós et al (2010) esclarecem que a importância da densidade aparente se justifica pelo fato de que está diretamente relacionada com a microestrutura do material cerâmico. Uma distribuição inadequada da densidade aparente em uma peça cerâmica provoca uma retração de queima não homogênea, a qual pode levar a uma falta de estabilidade dimensional no produto final – curvaturas, irregularidades, diferenças de tamanho.

Enrique et al (1997) reiteram que a densidade aparente é considerada uma das propriedades mais importantes, visto que interferem consideravelmente sobre o comportamento das peças cerâmicas durante as distintas etapas do processo de fabricação, assim como as propriedades finais do produto acabado. Os autores justificam o uso corrente dessa técnica, devido sua precisão, reprodutibilidade, rapidez e baixo custo.

Usualmente, a densidade aparente é determinada pelo método de empuxo de mercúrio (Figura 12). Parte-se do princípio de que o mercúrio se comporta como um fluido não-molhante em relação a maioria das substâncias. Logo, não penetra em pequenos furos ou fissuras.

Figura 12 – Descrição do método utilizando mercúrio

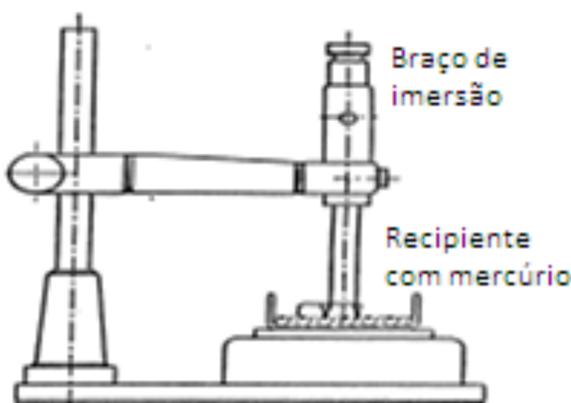


Fonte: (MARCIANO; MONTEDO, 2012, p. 10).

Para o ensaio, são coletadas amostras do biscoito cerâmico cru ou seco, de cerca de 40 mm de comprimento por 40 mm de largura. A amostra é pesada e colocada sobre a superfície do mercúrio sem encostar-se nas bordas do recipiente.

Conforme Figura 13, o braço de imersão do densímetro é abaixado, de modo que a amostra fique imersa no mercúrio. Posteriormente, o valor da massa imersa é anotado, para que então, seja calculado o volume aparente da amostra (Equação 1).

Figura 13 – Densímetro: esquema do pedestal rosqueado empregado para emergir a peça na água



Fonte: (TEIXEIRA, 2011, p. 10).

A densidade aparente pode ser calculada de acordo com a equação 1:

$$D_{ap} = \frac{M}{V_A} \quad (1)$$

Onde:

D_{ap} = densidade aparente da amostra (g/cm³)

M = massa da amostra (g)

V_A = volume aparente (cm³)

Marciano e Montedo (2012) em seu trabalho de conclusão de curso (TCC) intitulado “Relação entre densidade aparente e controle dimensional de placas cerâmicas” empregaram o mercúrio para determinar a densidade aparente das placas cerâmicas amostradas em diferentes tipologias de empresas na região sul catarinense.

Fellippe, Geremias e Lengler (2010) também determinaram a densidade aparente por empuxo de mercúrio em seu trabalho intitulado “Fundentes Alternativos para Massas Porcelanizadas”, mostrando que o mercúrio metálico é constantemente empregado em indústrias cerâmicas.

Kleinjohann et al (2007) publicaram um trabalho, cujo objetivo consistiu em determinar a porosidade total em revestimentos cerâmicos obtidos com a adição de resíduo industrial. E para tanto, a densidade aparente foi calculada, através da técnica de imersão em mercúrio.

Dessa forma, torna-se extremamente importante encontrar alternativas para a substituição e, com isso, a total eliminação do mercúrio metálico nas indústrias cerâmicas. Atualmente já existem algumas alternativas viáveis para a medição da densidade aparente de materiais cerâmicos.

6 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE

Os inconvenientes e riscos associados à determinação da densidade aparente por imersão em mercúrio motivaram, nos últimos anos, a busca e o desenvolvimento de novos procedimentos. Há, na atualidade, alguns métodos que permitem determinar a densidade aparente de peças, sem o uso do mercúrio, como por exemplo: medida dimensional direta, absorção de ultrassons, penetrometria, absorção de raios X, imersão em água, imersão em ar, reconstrução volumétrica por laser, etc. Na sequência, descrevem-se algumas metodologias encontradas na bibliografia.

Enrique et al (1997) afirmam que os métodos de medida da densidade aparente de peças cerâmicas podem ser divididos em três grupos: os que medem alguma propriedade diretamente relacionada com a densidade aparente; os que determinam o volume dos poros; e aqueles que se baseiam na medição da massa e do volume da peça separadamente. Mallol et al (2010), igualmente, agrupam as técnicas alternativas em três grupos, de acordo com o princípio em que se baseiam os métodos:

- Medida do volume da amostra: a partir do empuxo experimentado ao submergir as amostras em um líquido, mediante a reconstrução do volume da amostra utilizando telêmetros a laser ou recobrando-a com membranas flexíveis, usando ar ou água.
- Medida de uma propriedade diretamente relacionada com a densidade aparente da amostra: absorção de radiação de Raios X, da velocidade de transmissão de ultrassons.
- Emprego dos diagramas de compactação: instalação de sensores extensiométricos para medir a pressão e a umidade, mediante radiação infravermelha.

6.1 MÉTODOS DIRETOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE

6.1.1 Ondas Ultrassônicas

Este método tem como princípio a determinação da velocidade que as ondas se propagam no interior de um sólido. A Equação 5 relaciona a densidade aparente e a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas (ENRIQUE et al, 1997).

(5)

$$V^2L = \frac{E}{\rho} \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

Onde:

V_L = velocidade da onda longitudinal (m/s)

E = módulo de Young (Pa)

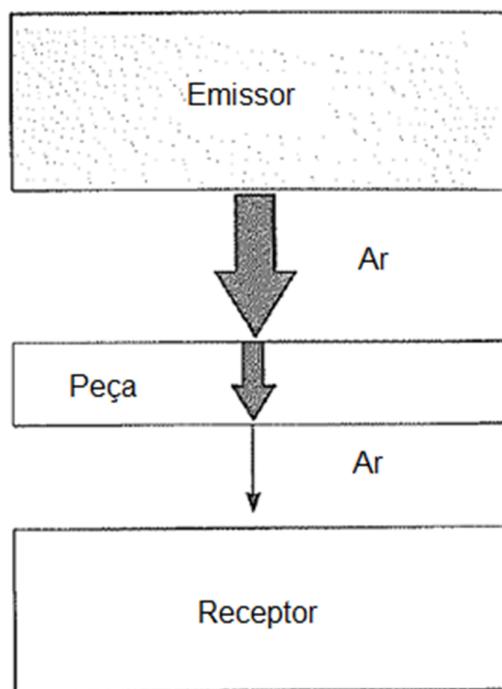
ν = número de Poisson

ρ = densidade aparente (Kg/m³)

De acordo com Cantavella et al (2006), o emprego dessa técnica exige o uso de um líquido ou o contato direto entre o emissor, a amostra e o receptor. Os avanços nessa área permitiram, entretanto, experimentar um método sem contato, conforme ilustra a Figura 15.

O método de análise é rápido e permite obter gradientes de densidade em um sólido. Entretanto, segundo os autores, a precisão alcançada com esse método é inferior ao resultado que se obtém com o método de imersão por mercúrio.

Figura 14 – Esquema de funcionamento do método de determinação da densidade aparente por ondas ultrassônicas sem contato



Fonte: Cantavella et al (2006, p. 79).

6.1.2 Absorção de Raios X

Esse método de determinação de densidade aparente por raios X se baseia na absorção que essa radiação sofre quando atravessa um sólido (Equação 6). Para avaliar a densidade aparente é necessário conhecer a espessura da peça e o coeficiente de absorção, que depende de outros fatores (ENRIQUE et al, 1997).

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu_m \rho x} \quad (6)$$

Onde:

I_0 = intensidade da radiação X incidente (W/m^2)

I = intensidade da radiação X que atravessa a proveta (W/m^2)

μ_m = coeficiente de absorção (m^2/Kg)

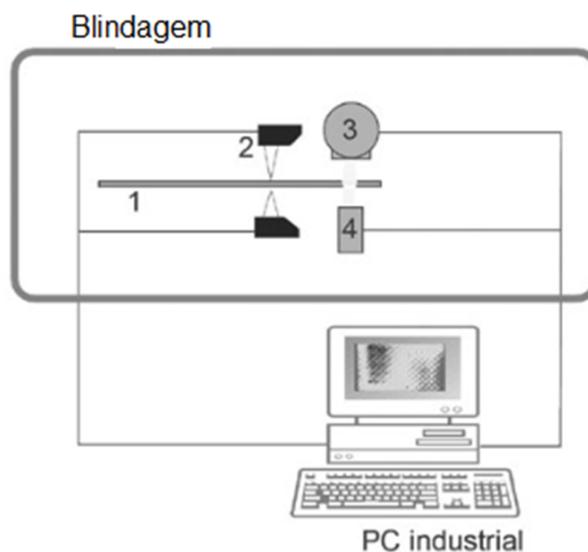
ρ = densidade aparente (Kg/m^3)

x = espessura da proveta

Amorós et al (2010) afirmam que a inspeção por raios X é capaz de detectar variações de densidade no interior dos materiais. Por esse motivo, é amplamente utilizado por diversos setores industriais. São pontos negativos desse procedimento, os custos elevados dos equipamentos e a complexidade técnica que apresenta sua manipulação. A Figura 16 ilustra o esquema de funcionamento do equipamento utilizado para determinação da densidade aparente por absorção de raios X.

A peça (1) a ser examinada situa-se em posição vertical sobre um quadro metálico, sobre o qual se encontra o sistema de telemetria (2) – encarregado de medir a espessura da peça – o tubo emissor de raios X (3) e o sensor de radiação (4) (AMORÓS et al, 2010).

Figura 15 – Esquema de funcionamento do equipamento de medida de densidade aparente por absorção de raios X



Fonte: (AMARÓS et al, 2010, p. 281).

6.1.3 Absorção de Raios γ

O método de absorção de raios γ é similar ao método anterior, exceto pelo fato de que a energia dos fótons é muito mais elevada, utilizando a mesma equação descrita anteriormente. Adverte-se, entretanto, que tal técnica requer uma fonte de raios γ , que normalmente é um material radioativo (ENRIQUE et al, 1997).

6.1.4 Penetrometria

Consiste em determinar a força necessária para introduzir uma longitude constante de um ponteiro ligado a uma haste metálica, em uma zona onde se deseja determinar a densidade aparente. A força máxima empregada em tal operação é proporcional, em uma primeira aproximação, à compacidade da zona explorada (ENRIQUE et al, 1997).

Os autores advertem, contudo, que esse método apresenta uma série de inconvenientes. Uma delas é que o valor obtido é, na verdade, uma combinação de parâmetros, os quais podem variar conforme a umidade, além de tratar-se de um método pontual, requerendo a realização de diversas determinações para o cálculo de um valor de densidade.

6.2 MÉTODOS INDIRETOS DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE

6.2.1 Método da Determinação da Densidade Aparente Utilizando Água e Parafina

A densidade aparente (ρ) de uma amostra (peça) pode ser encontrada segundo a razão entre a massa (m) e o volume aparente (v). O volume aparente da amostra é o volume englobando os poros, já a densidade real é a densidade do material sem poros.

O grande desafio quando se necessita determinar a densidade aparente de uma peça é a medição precisa do seu volume, pois a massa pode ser facilmente encontrada com a ajuda de uma balança de precisão.

A densidade aparente é um parâmetro do processo cerâmico e é determinado no setor de prensas, durante a conformação da peça cerâmica. Nesse momento a peça cerâmica ainda está no estado cru, portanto, pode ser facilmente dissolvida pela água, perdendo o seu formato inicial. Como o mercúrio possui uma alta tensão superficial esse metal não molha o material cerâmico devido ao alto ângulo de contato entre o mercúrio líquido e o material cerâmico cru, possibilitando dessa forma a sua utilização para a determinação do volume aparente e, conseqüentemente, a densidade aparente.

Dal Bó, Neves e Amaral (2002), desenvolveram uma metodologia na qual o suporte cerâmico cru é, inicialmente, impermeabilizado com parafina comum possibilitando então encontrar o volume aparente da amostra por imersão em água. Nesse caso, a parafina é empregada, única e exclusivamente, para impermeabilização do suporte cerâmico cru. Posteriormente a amostra é imersa na água sem que ocorra absorção do líquido. Para encontrar a densidade aparente da peça é necessário aplicar um balanço de forças no sistema, conforme a equação (2):

$$P = E + F$$

$$P = \rho_{H_2O} \cdot V_{AP} \cdot g + F \quad (2)$$

$$V_{AP} = \frac{P - F}{\rho_{H_2O} \cdot g}$$

Nesse método, o volume aparente da peça engloba o volume da peça e o volume da parafina isolante (3). Sabendo que a densidade da parafina pode ser descrita como sendo $\rho_{parafina} = \frac{m_{parafina}}{V_{parafina}}$, chega-se a seguinte fórmula (4):

$$V_{AP} + V_{parafina} = \frac{P - F}{\rho_{H_2O} \cdot g} \quad (3)$$

$$V_{AP} = \frac{P - F}{\rho_{H_2O} \cdot g} - V_{parafina}$$

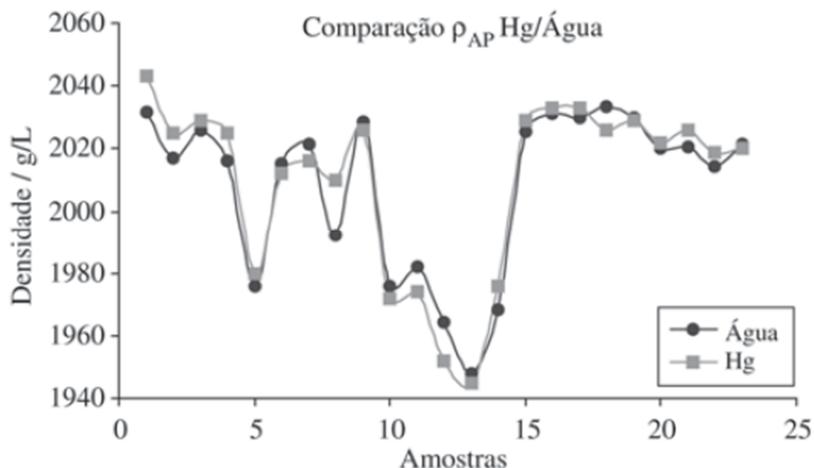
$$\rho_{AP} = \frac{m}{V_{AP}} \quad (4)$$

O procedimento experimental desse método alternativo inicia com a retirada de uma amostra do material cerâmico logo após a saída da prensa. A partir dessa peça, prepara-se uma série de amostras com cerca de 5 x 5 cm, as quais serão empregadas para determinação da densidade aparente. Os passos são os seguintes:

1. Preparação das amostras de suporte cerâmico cru;
2. Fundição da parafina;
3. Pesagem do suporte cru;
4. Imersão da amostra na parafina (impermeabilização);
5. Pesagem do suporte cru impermeabilizado;
6. Imersão do suporte impermeabilizado na água,
7. Pesagem da massa de fluido deslocado da peça.

Os autores chegaram a um comparativo entre as densidades, utilizando os dois métodos: determinação da densidade aparente por mercúrio e usando água e parafina (Figura 14).

Figura 16 – Comparativo entre os resultados obtidos pelos dois métodos



Fonte: (DAL BÓ; NEVES; AMARAL, 2002, p. 46).

De acordo com os resultados os autores concluíram que o novo método baseado no emprego da água e parafina apresentou ótimos resultados, quando comparado ao método tradicional. Além disso, é totalmente viável de ser implementado. Ressalta-se que o método descrito foi inicialmente empregado na Cecrisa Revestimentos Cerâmicos S.A., Portinari.

6.2.2 Determinação do Volume dos Poros

Neste grupo de técnicas experimentais, cita-se a porosimetria de mercúrio e os métodos baseados na impregnação das provetas por líquidos orgânicos. A porosimetria de mercúrio permite conhecer o volume total de poros e a distribuição de seus tamanhos; se baseia na medida do volume de *Hg* que penetra nos poros, conforme se aumenta a pressão.

As técnicas de impregnação utilizadas, agora em desuso, consistem na determinação da massa de líquido absorvida pelos poros da peça. Comumente, são empregados líquidos orgânicos. Os resultados se expressam como “capacidade de absorção de líquido orgânico” e são calculados da seguinte forma (Equação 7):

$$C.A.L (\%) = \frac{m_L}{m_s} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde:

m_L = massa de líquido orgânico absorvido

m_s = massa da proveta seca

6.2.3 Medidas Baseadas na Determinação do Volume

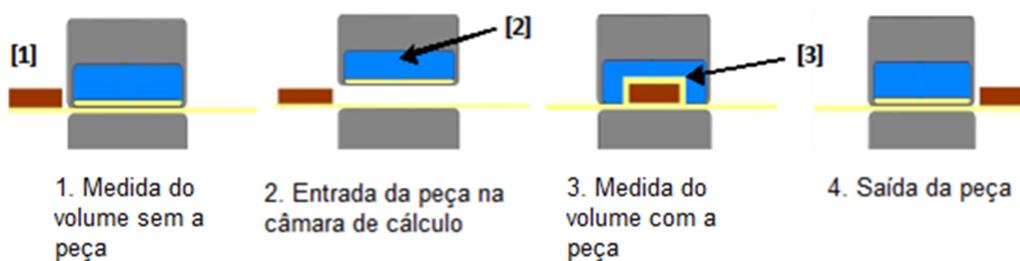
Segundo Enrique et al (1997), atualmente, dispõe-se de micrômetros bastante precisos para determinação direta do volume da peça, embora requeiram que as peças apresentem uma geometria bastante simples. Do contrário, é preciso obter medidas em múltiplos pontos da peça, para assim poder determinar o seu volume.

Relacionado ao método de determinação da densidade por imersão da proveta em um líquido, os autores supracitados esclarecem que a maioria dos métodos se baseia em pesar a peça e calcular o seu volume pelo princípio de Arquimedes.

Aliás, as primeiras experiências de pesquisa de métodos alternativos, consistiram na determinação do volume das amostras empregando a água como líquido de imersão. Ainda que a precisão de seus resultados fosse aceitável, essa técnica não foi muito bem recebida a nível industrial, visto que era um pouco mais trabalhosa (AMARÓS et al, 2010).

De acordo com Enrique et al (1997), esse método pode ser empregado em qualquer tipo de peça, desde que o sólido seja impermeável ao líquido de imersão e não tenha nenhuma interação com ele. Logicamente, o volume da peça é obtido a partir da diferença entre o volume de água sem e com a peça no seu interior (Figura 17).

Figura 17 – Funcionamento do método que emprega a água como líquido de imersão



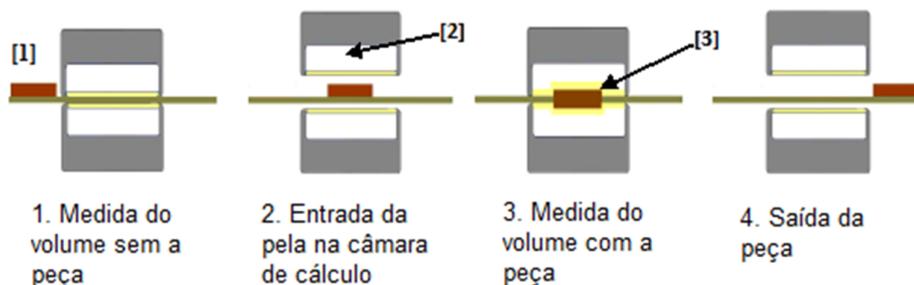
Fonte: (AMORÓS et al, 2010, p. 3).

Inicia-se pela medição do volume da peça (1), seguindo para a entrada da peça na câmara de cálculo (2), medida do volume com a peça (3), finalizando com a saída da mesma (4).

6.2.4 Método de Determinação a Partir da Massa e do Volume

Existe um método baseado na imersão da peça em ar. A massa é obtida com uma balança e o volume, com uma câmara que dispõe de membranas poliméricas. A determinação do volume da peça se dá pela Lei dos Gases Ideais, a partir da diferença de pressão na câmara vazia; e da introdução da peça coberta pelas membranas. O equipamento contém um software de tratamento de dados conforme descrito na Figura 18.

Figura 18 – Funcionamento do método que emprega as membranas com ar

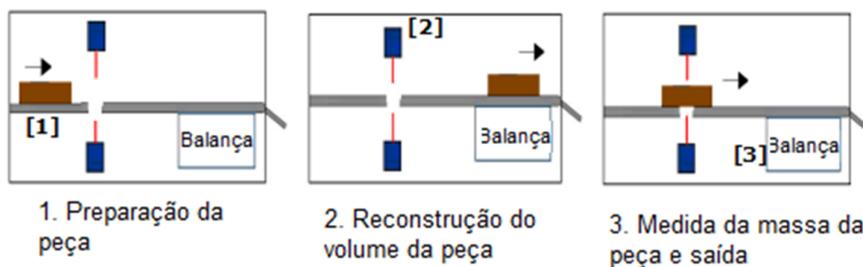


Fonte: (AMORÓS et al, 2010, p. 3).

Em um primeiro momento, determina-se o volume sem a peça (1), seguindo-se para a entrada da peça na câmara de cálculo (2) e a medida do volume com a peça (3), finalizando com a sua saída (4).

Há outro método, também de medida direta da densidade, o qual utiliza laser. Nesse caso, a massa é obtida com uma balança e o volume, mediante um sistema de telemetria a laser, conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19 – Funcionamento do método que emprega laser



Fonte: (AMORÓS et al, 2010, p. 3).

Inicialmente prepara-se a peça (1), faz-se a reconstrução do seu volume (2), determina-se a medida de sua massa (3), procedendo com a saída da peça do equipamento.

A diferença desse método em relação aos anteriores, é que além das informações obtidas, referentes à densidade aparente, ao volume e à massa, os dispositivos a laser também permitem conhecer a espessura das peças e sua densidade superficial.

7 CONCLUSÃO

O mercúrio é um metal bastante perigoso quando em contato com o organismo humano, seja pela via aérea, cutânea ou por ingestão. A exposição ocupacional a curto ou em longo prazo ao mercúrio está associada ao desencadeamento de uma série de sintomas, os quais podem ser diagnosticados mediante exames clínicos, neurológicos, psiquiátricos e psicológicos.

Entre os sintomas de intoxicação aguda, cita-se: dor, vômito, sangramento nas gengivas, sabor metálico na boca, ardência no aparelho digestivo, diarreia, inflamação na boca, queda dos dentes, nefrose nos rins, problemas hemáticos graves. Quanto à intoxicação crônica, os indivíduos expostos ao mercúrio por um longo período podem apresentar transtornos digestivos e nervosos, estomatite, salivação, mau hálito, anemia, hipertensão, problemas no sistema nervoso central, transtornos renais leves, além de possibilidade de alteração cromossômica.

Os usos e aplicações do mercúrio são variados. Um deles, problematizado no presente trabalho, caracteriza-se pelo seu emprego na indústria cerâmica, mais especificamente no ensaio de determinação da densidade aparente por imersão em mercúrio. Trata-se de uma das propriedades mais importantes da peça cerâmica.

A toxidade e os efeitos decorrentes atribuídos a esse metal no ambiente de trabalho reforçam a importância do engenheiro de segurança do trabalho, na sua empreitada de zelar pela saúde do trabalhador e evitar ao máximo, condições insalubres e situações de risco.

Nesse sentido, fez-se um levantamento de métodos que podem substituir o procedimento que requer o uso do *Hg* em indústrias cerâmicas. E dentre todos os métodos alternativos apresentados para determinação da densidade aparente, aqueles baseados na imersão em um líquido apresentam notáveis vantagens em relação aos demais. Compreendendo uma técnica rápida, simples e tão precisa quanto o método utilizando o mercúrio metálico.

REFERÊNCIAS

ABCERAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas – Definição e Classificação**. s.d. Disponível em:

<<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4>>. Acesso em: 02/02/2013.

ACPO – ASSOCIAÇÃO DE COMBATE AOS POLUENTES. **Mercúrio e sua história**. 2002. Disponível em:

<<http://www.acpo.org.br/campanhas/mercurio/historia.htm>>. Acesso em: 15/02/2013.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Painel discute riscos do mercúrio à saúde**. 2011. Disponível em: <

<http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/home>>. Acesso em: 12/03/2013.

AMORÓS, J. L. et al. Medida no destructiva de la densidad aparente de piezas em crudo mediante absorción de rayos X. **Actas Qualicer**, 2010. IX Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Câmara oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2006.

ANFACER. **Números do Setor**. São Paulo, 2012. Disponível em:

<<http://www.anfacer.com.br/>>. Acesso em: 26/04/2012.

ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.

Toxicological profile for mercury: Atlanta: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1989.

AZEVEDO, F. A; CHASIN, A. A. da M. **Metais**: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu, 2003.

BUSTAMANTE, G. M; BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 5, n. 3, p.31-36, mai./jun. 2000.

CABRAL JUNIOR, M. et al. Panorama e perspectivas da indústria de revestimentos cerâmicos no Brasil. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 15, n. 3, 7-18, mai./jun. 2010.

CANTAVELLA, V. et al. **Uso de la técnica de ultrasonidos para medir la densidade aparente de las baldosas em crudo y optimizar el processo de prensado**. In: QUALICER, 2006. IX Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico, Castellón: Câmara oficial de Comercio, Industria y Nacegación, 2006.

DAL BÓ, M; NEVES, W. F. das; AMARAL, S. do. Substituição do mercúrio por água na determinação da densidade aparente do suporte cerâmico cru. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 7, n. 2, p.42-46, mar./abr. 2002.

EQUIPE NRFacil. **NR-15 (INSALUBRIDADE)**: o uso do mercúrio por trabalhadores. s.d. Disponível em: <<http://nrfacil.com.br/blog/?tag=mercurio>>. Acesso em: 08/03/2013.

ENRIQUE, J. E. et al. Alternativas al método de inmersión em mercúrio para la determinación de la densidade aparente de baldosas cerâmicas. **Técnica Cerâmica**, 250, p. 18-27, 1997.

FFUP – FACULDADE DE FARMÁCIA DA UNIVERSIDADE DE PORTO. **Mercúrio**. s.d. Disponível em: <http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0708/g1_mercurio/>. Acesso em: 10/02/2013.

FARIAS, A. R. **A importância e aplicações do Mercúrio (Hg) no cotidiano**. In: Física e Química no Cotidiano. 2010. Disponível em: <<http://adaoreinaldo.blogspot.com.br/2010/04/importancia-e-aplicacoes-do-mercurio-hg.html>>. Acessado em: 12/10/2012.

FELLIPPE, F; GEREMIAS, M. L; LENGLER, H. C. de M. **Fundentes alternativos para massas porcelanizadas**. 2010. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Cerâmica) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

FERNANDES, A. M. de O; GUIMARÃES, Z. da S. **Saúde-doença do trabalhador: um guia para os profissionais**. Goiânia: AB Editora, 2007.

FONSECA, A. T. da. **Tecnologia do Processamento Cerâmico**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000.

GRIGOLETTO, J. C. et al. Exposição ocupacional por uso de mercúrio em odontologia: uma revisão bibliográfica. **Ciência Saúde Coletiva**, v. 13, n. 2, p.533-542, 2008.

HORVAT, M. **In Global and Regional Mercury Cycles: sources, fluxes and mass balances**, Baeyens, W. et al, 1996.

JUNG, A. **Avaliação do risco de exposição ao mercúrio elementar em uma unidade de terapia intensiva**. 2004. 64 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KLEINJOHANN, K. C. et al. Determinação da Porosidade Total em Revestimentos Cerâmicos Obtidos com a Adição de Resíduo Industrial. **Anais da 6ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2007. Florianópolis, Brasil. UFSC.

MALLOL, G. et al. Medida de la densidade aparente de baldosas cerâmicas de forma rápida, inócua y no destructiva. **Bol. Soc. Esp. Ceram.**, v. 49, n. 6, p.393-398, 2010.

MANUAL DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA. **Os riscos da inalação de mercúrio**. s.d. Disponível em: <<http://www.protecaorespiratoria.com/2011/09/os-riscos-da-inalacao-de-mercurio.html>>. Acesso em: 26/12/2012.

MARCIANO, S. de F; MONTEDO, O. R. K. **Relação entre densidade aparente e controle dimensional de placas cerâmicas**. 2012. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Cerâmica) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MICARONI, R. C; BUENO, M. I. Compostos de Mercúrio. Revisão de Métodos de Determinação, Tratamento e Descarte. **Química Nova**, v. 23, n. 4, pp. 487-495. 2000.

MUÑOZ, S. I. S. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos níveis de metais pesados.** 2002. 158 (Doutorado) – Escola de enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil.

NALEWAY, C. et al. On-site screening for urinary Hg concentrations and correlation with glomerular and renal tubular function. **Journal of Public Health and Dentistry**, Richmond, v. 5, n. 1, pp.12-17, 1991.

NASCIMENTO, E, S; CHASIN, A. da M. **Ecotoxicologia do Mercúrio e seus Compostos.** Salvador: CRA, 2001.

OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION, O. **Mercury.** Washington, EUA, 2012. Disponível em: <<http://www.osha.gov/SLTC/mercury/index.html> >. Acesso em: 09/11/2012.

OIT – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Publicações.** s.d. Disponível em: < <http://www.oit.org.br/publication> >. Acesso em: 13/10/2012.

REIS, P. C. dos. **Estudo da remoção e fixação de mercúrio usando hidroxiapatitas modificadas como adsorventes específicos.** 2008. 153 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RODRIGUES, E. et al. O laboratório clínico livre de mercúrio. **J Bras Patol Med Lab**, v. 47, n. 3, p.211-216, jun. 2011.

TEIXEIRA, J. E. **Estudo das condições de segurança necessárias para a realização do ensaio de densidade aparente com utilização de mercúrio na indústria cerâmica.** 2011. 36 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

ZAVARIZ, C; GLINA, D. M. Efeitos da exposição ocupacional ao mercúrio em trabalhadores de uma indústria de lâmpadas elétricas localizada em Santo Amaro, São Paulo, Brasil. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p.117-129, abr./jun. 1993.