



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**CARACTERÍSTICAS DA POEIRA DO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS PARA
REVESTIMENTO: ESTUDO NO PÓLO DE
SANTA GERTRUDES**

MARIA MARGARIDA TEIXEIRA MOREIRA LIMA

**Campinas - SP
2007**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

Maria Margarida Teixeira Moreira Lima

**CARACTERÍSTICAS DA POEIRA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO
DE MATERIAIS CERÂMICOS PARA REVESTIMENTO: ESTUDO NO
PÓLO DE SANTA GERTRUDES**

Dissertação submetida à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Arquitetura e Construção.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Gladis Camarini

Campinas - SP
2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M813m Moreira Lima, Maria Margarida Teixeira
Características da poeira do processo de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento: estudo no pólo de Santa Gertrudes / Maria Margarida Teixeira Moreira Lima.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Gladis Camarini
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Revestimentos. 2. Materiais de construção. 3. Sílica. 4. Poeira. 5. Cerâmica – Indústria. 6. Ambiente de trabalho. I. Camarini, Gladis. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Characteristics of dust from the manufacturing process of ceramic materials for tiles: study in the Santa Gertrudes complex

Palavras-chave em Inglês: Ceramic tiles, Crystalline silica, Dust, Occupational exposure, Workplace assessment

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Alcinéa Meigikos dos Anjos Santos, Ana Maria Tibiriçá Bon, Derval dos Santos Rosa

Data da defesa: 22/11/2007

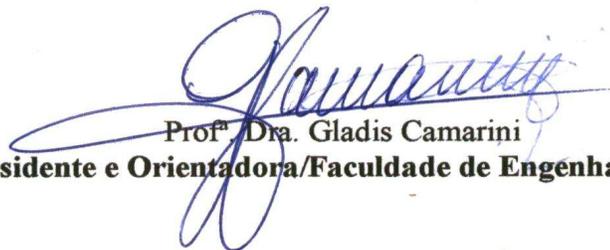
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**CARACTERÍSTICAS DA POEIRA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE
MATERIAIS CERÂMICOS PARA REVESTIMENTO: ESTUDO NO PÓLO DE
SANTA GERTRUDES**

Maria Margarida Teixeira Moreira Lima

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



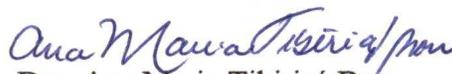
**Prof.ª Dra. Gladis Camarini
Presidente e Orientadora/Faculdade de Engenharia Civil**



**Prof. Dr. Derval dos Santos Rosa
FEC/UNICAMP**



**Dra. Alcinea Meigikos dos Anjos Santos
CTN/FUNDACENTRO**



**Dra. Ana Maria Tibiriçá Bon
CTN/FUNDACENTRO**

Campinas, 22 de novembro de 2007.

Este trabalho é fruto do amor pelos meus filhos, Lucas, Estela e Helena.

Não seria possível sem o grande apoio de meus pais, Maria Amélia e Armando, e de meu parceiro de vida Jófilo.

A eles o dedico com muita afeição.

Agradecimentos

Neste trabalho tive de me valer da ajuda de muitas pessoas magistrais, sem as quais não teria como desenvolver e concluir esta pesquisa. A todas elas quero deixar registrada a minha gratidão por me terem apoiado e orientado naquilo que necessitei. Se deixar de mencionar alguma colaboração, peço que não seja interpretada como exclusão, uma vez que meus agradecimentos são para todos aqueles que direta ou indiretamente estiveram ao meu lado nesta missão de contribuir, por meio da pesquisa acadêmica e das ferramentas da higiene ocupacional, com a prevenção da silicose no setor de revestimentos cerâmicos no Brasil.

A primeira pessoa a quem manifesto meu reconhecimento é à minha Orientadora e Professora Dra. Gladis Camarini que, com seu saber na área de engenharia civil e sua experiência acadêmica, me introduziu na área da engenharia dos materiais de construção e traçou comigo os caminhos do meu mestrado.

Depois dela, todas as demais pessoas e Instituições me foram igualmente importantes na conclusão deste trabalho, cada qual com sua pequena ou grande colaboração.

Agradecimentos às Doutoradas Alcinea Meigikos dos Anjos Santos e Ana Maria Tibiriçá Bon, por dedicarem o seu tempo a este estudo e pelas sugestões e discussões na elaboração e qualificação deste projeto, e ao Prof^o Dr. Vitor Antonio Ducatti pelo conhecimento transmitido na área de ciência dos materiais e pela atenção e valorização do nosso trabalho na banca de qualificação.

Meu reconhecimento pelo enorme auxílio no trabalho de campo e de coleta das amostras de poeira aos incansáveis colegas da FUNDACENTRO, Leila Cristina Alves Lima, Luiz Alberto Prado Corrêa e Amarildo Aparecido Pereira, e pelos cuidados da companheira Teresa Cristina Nathan Outeiro Pinto e do técnico Guillermo Francisco Pérez Díaz na calibração

e fornecimento de dados das bombas de amostragem.

Minha gratidão à equipe técnica do Laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de raios-X da Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO pela análise das amostras de poeira. Agradecimentos especiais à Dra. Alcinéa M. dos Anjos Santos, pela parceria e amizade de muitos anos, pelos incentivos e orientações sobre a metodologia de análise e pela interpretação dos resultados da difração de raios-X, e às colegas Leila Cristina A. Lima e Norma Conceição do Amaral pela preparação dos dispositivos de coleta e das amostras de poeira para análise.

À Dra. Ana Maria T. Bon, colega e amiga sempre presente da FUNDACENTRO, agradeço a atenção pessoal e as orientações fornecidas sobre o processo de fabricação de placas cerâmicas esmaltadas e sobre os aspectos toxicológicos do quartzo e, ainda, por encaminhar e acompanhar as análises das amostras de massa cerâmica junto ao IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Ao IPT a gratidão por meio do apoio das Químicas Regina Nagamine e Joelize Leal de Andrade Manholetti que se colocaram ao nosso lado para cooperação técnica no que fosse necessário com relação ao conhecimento sobre os materiais cerâmicos para revestimento. À Joelize, em especial, e ao Químico PedroYuri Gerônimo Kobata e ao técnico Ademir de Cancio Silva agradeço a preparação e as análises das amostras das massas cerâmicas estudadas neste trabalho.

Ao ilustre Dr. René Mendes, que foi um mestre e amigo naquilo que lhe solicitei, em particular sobre as origens do conhecimento sobre a silicose, meu muito obrigada.

Ao Dr. Daphnis Ferreira Souto estou grata pelo fornecimento das informações sobre o trabalho que realizou, passados já 50 anos, para a prevenção da silicose na fabricação de azulejos no Rio de Janeiro.

À FUNDACENTRO, que nos abriga e apóia desde 1979, especialmente aos colegas da Coordenação de Saúde no Trabalho, da Coordenação de Recursos Humanos, da Coordenadoria de Documentação e Biblioteca e ao Dr. Eduardo Algranti e à Dra. Elizabete Medina Coeli Mendonça, da Divisão de Medicina do Trabalho, ao colega Marco Antônio Bussacos, da

Divisão de Estatística e Epidemiologia, e ao Dr. Paulo Alves Maia, do Escritório Regional da Fundacentro em Campinas, que fizeram o que estava ao seu alcance para ajudar na realização e conclusão deste trabalho, a minha sincera gratidão.

À ASPACER - Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento - e às empresas do pólo cerâmico de Santa Gertrudes, que viabilizaram esta pesquisa, aos técnicos de segurança do trabalho que nos acompanharam e aos trabalhadores das indústrias selecionadas que entenderam seus objetivos e se colocaram à disposição na coleta individual das amostras de poeira, o mais importante dos agradecimentos, pois sem essas colaborações o trabalho não seria possível.

Um agradecimento muito carinhoso aos meus pais e ao meu irmão Augusto, que deram todo o suporte possível na minha mudança de Brasília para Piracicaba para a realização desta pesquisa na UNICAMP, e ao meu marido Jófilo pela paciência e compreensão e por me dar forças nos momentos difíceis da realização deste Mestrado.

Por tudo, muito obrigada meu Deus!

“Enquanto não estivermos comprometidos, haverá a hesitação!... Em relação a todos os atos de iniciativa e criação, existe uma verdade elementar, cuja ignorância mata inúmeros planos e idéias esplêndidas. No momento em que, definitivamente, nos comprometemos, a providência divina também se põe em movimento. Todos os tipos de coisas ocorrem para nos ajudar... Todo um fluir de acontecimentos surge a nosso favor como resultado da decisão, todas as formas imprevistas de coincidências, encontros e de ajuda material... A coragem contém em si mesma a força e a magia”.

Johann Wolfgang von Goethe

Resumo

MOREIRA-LIMA, Maria Margarida Teixeira. **Características da poeira do processo de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento: estudo no pólo de Santa Gertrudes.** 2007. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

A poeira gerada no processo de fabricação de materiais cerâmicos pode ser um agente de risco à saúde dos trabalhadores, em especial quando em sua composição houver a presença de polimorfos da sílica nas formas cristalinas do α -quartzo e da cristobalita. A exposição ocupacional à poeira respirável desses polimorfos pode ocasionar o aparecimento da silicose e de outras doenças associadas. Na indústria de revestimentos cerâmicos as informações sobre as características da poeira gerada nos seus processos e sobre a prevalência da silicose no setor são insuficientes para definir a magnitude do risco da exposição ocupacional à sílica. Este estudo de campo busca identificar parâmetros físicos e a concentração em sílica cristalina do material particulado suspenso no ar em indústrias de revestimentos cerâmicos para pisos e paredes. Foram selecionadas nove indústrias no município de Santa Gertrudes, no estado de São Paulo, com processo de fabricação por via seca, onde a matéria-prima principal é a argila vermelha proveniente da Formação Corumbataí. O estudo realizou-se por meio da observação sistemática das etapas do processo industrial, da coleta e análise de amostras da poeira presente nos ambientes de trabalho e da análise mineralógica da massa cerâmica manufaturada. As amostras de poeira foram analisadas por gravimetria e por difratometria de raios-X (DRX). Foi determinada a presença na poeira de partículas com tamanho na fração respirável ($< 10 \mu\text{m}$), sendo identificado o α -quartzo em 72% das amostras de poeira respirável analisadas. Não se encontraram outros polimorfos da sílica cristalina na poeira coletada. As avaliações realizadas indicaram concentrações de α -quartzo respirável entre $0,01 \text{ mg/m}^3$ e $0,16 \text{ mg/m}^3$, sendo a concentração média de α -quartzo respirável nos setores de moagem e de recepção de massa de $0,06 \text{ mg/m}^3$, nos setores de prensas de $0,03 \text{ mg/m}^3$, nas linhas de esmaltação de $0,02 \text{ mg/m}^3$ e na preparação dos esmaltes e engobe de $0,09 \text{ mg/m}^3$. Foi caracterizada por DRX a presença de minerais do grupo das micas, dos feldspatos e da esmectita na composição das massas cerâmicas analisadas, juntamente com a hematita e o quartzo, como mineral predominante.

Palavras-chave: revestimentos, materiais de construção, sílica, poeira, cerâmica-indústria, ambiente de trabalho.

Abstract

MOREIRA-LIMA, Maria Margarida Teixeira. **Characteristics of dust from the manufacturing process of ceramic materials for tiles: Study in the Santa Gertrudes complex.** 2007. 142 p. Dissertation (Master in Civil Engineering) - School of Civil Engineering, Architecture and Urbanism, Campinas State University, Campinas, 2007.

Dust generated in the process of manufacturing ceramic materials may be a hazardous agent to the health of workers, especially when silica polymorphs in crystal forms of α -quartz and cristobalite are present in its composition. Occupational exposure to respirable dust of such polymorphs may lead to the onset of lung disease named silicosis and other associated diseases. In the ceramic wall and floor tiles industry data on the characteristics of dust generated in their processes and on the prevalence of silicosis in the sector are not sufficient to define the magnitude of occupational exposure risk to silica in this industry. This field study aims to identify physical parameters and the mass concentration and the composition in crystalline silica of airborne particulate material in industries of glazed ceramic tiles for floors and walls. Nine plants in Santa Gertrudes Municipality, São Paulo State, with dry manufacturing process, where the main raw material is red clay from the Corumbataí Formation have been selected. The study was conducted through systematic observation of the industrial process steps with dust generation, the collection and analysis of air samples from the environments and the mineralogical analysis of the raw ceramic bodies manufactured. Dust samples were analyzed with gravimetric and X-ray diffractometry (XRD) techniques. The air samples indicated that there was dust in the respirable fraction ($< 10 \mu\text{m}$) and the α -quartz was identified in 72% of the analyzed respirable dust samples. Other polymorphs of the crystalline silica were not found in the collected dust. The dust samples indicated concentrations of respirable α -quartz between 0.01 mg/m^3 and 0.16 mg/m^3 in the main stages of the process. The mean concentration of respirable α -quartz in the sectors of clay grinding was 0.06 mg/m^3 , in the pressing sectors it was 0.03 mg/m^3 , in the glazing lines it was 0.02 mg/m^3 and in the preparation of enamels and engobe sectors it was 0.09 mg/m^3 . Minerals of the group of the micas, feldspars and smectite had been identified by XRD in the composition of all the ceramic masses, together with hematite and quartz, as the predominant mineral.

Key words: ceramic tiles, construction materials; silica, dust, ceramic industry, workplace assessment.

Lista de Figuras

	página
Figura 2.1: Mapa do estado de São Paulo com sua divisão político-administrativa e localização do pólo cerâmico de Santa Gertrudes.....	35
Figura 2.2: Esquema do processo de produção da massa cerâmica por via úmida.....	44
Figura 2.3: Fluxograma do processo de fabricação por via seca de revestimentos cerâmicos esmaltados e suas fontes de geração de poeira.....	49
Figura 3.1: Classificação das frações de tamanho de partículas, segundo regiões de deposição no trato respiratório, efeitos sobre a saúde e eficiência de coleta.....	59
Figura 5.1: Vista explodida do dispositivo de coleta (porta-filtro de poliestireno).....	85
Figura 5.2: Separador de partículas ciclone de nylon Dorr-Oliver de 10 mm.....	86
Figura 5.3: Sistema de coleta utilizado para poeira total e para poeira respirável.....	87
Figura 5.4: Coleta individual de amostra de poeira respirável.....	88
Figura 5.5: Coleta de área de amostras de poeira, com detalhes do sistema de coleta para poeira respirável e para poeira total.....	88
Figura 6.1: Concentração de α -quartzo respirável, comparada ao valor limite de exposição (VLE), por setor.....	104
Figura 6.2: Concentração de poeira respirável, por setor.....	104
Figura 6.3: Concentração de poeira total, nos setores de moagem e recepção de massa e de prensas.....	105
Figura 6.4: Teores de α -quartzo na poeira respirável dos diferentes setores, por empresa.....	106
Figura 6.5 Concentração de α -quartzo respirável nos diferentes setores, por empresa.....	106

	página
Figura 6.6: Componentes comuns às massas cerâmicas das empresas.....	110
Figura 6.7: Concentração de α -quartzo respirável nos setores de moagem e recepção de massa e de prensas de cada empresa.....	115
Figura 6.8: Teores de α -quartzo na massa cerâmica de cada empresa.....	116

Lista de Quadros

	página
Quadro 1.1: Estimativa do número de trabalhadores expostos a poeiras com sílica cristalina no Brasil, por setor econômico.....	25
Quadro 2.1: Grupos de argilominerais e constituintes.....	38
Quadro 2.2: Composição química média da argila da Formação Corumbataí.....	39
Quadro 3.1: Eficiência de coleta representativa na fração de particulado respirável (Convenção ACGIH [®] /ISO/CEN).....	64
Quadro 3.2: Diâmetro aerodinâmico da partícula e porcentagem de passagem pelo seletor.....	64
Quadro 6.1: Características dos processos de fabricação dos revestimentos cerâmicos nas diferentes empresas.....	97

Lista de Tabelas

	página
Tabela 6.1: Resultados da avaliação da poeira nos setores de moagem e de recepção de massa.....	99
Tabela 6.2: Resultados da avaliação da poeira no setor de prensas.....	100
Tabela 6.3: Resultados da avaliação da poeira no setor de esmaltação.....	101
Tabela 6.4: Resultados da avaliação da poeira no setor de preparação de esmaltes e engobe.....	102
Tabela 6.5: Limite de tolerância para a concentração de poeira respirável, em cada setor avaliado, por empresa, segundo o Anexo 12 da NR-15.....	107
Tabela 6.6: Estimativa dos teores dos principais minerais da massa cerâmica de cada empresa.....	111

SUMÁRIO

	página
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	24
1.1.1 Geral.....	24
1.1.2 Específicos.....	24
1.2 Justificativa.....	25
1.3 Delimitação do tema.....	29
1.4 Estrutura do trabalho.....	30
2 REVESTIMENTO CERÂMICO	32
2.1 A indústria de revestimento cerâmico.....	32
2.1.1 O pólo de Santa Gertrudes.....	34
2.2 Materiais constituintes.....	36
2.2.1 Argila e adições.....	36
2.2.2 Esmalte e engobe.....	40
2.3 Processos de fabricação.....	42
2.3.1 Moagem por via úmida.....	43
2.3.2 Moagem por via seca.....	44
2.3.3 Esmaltação.....	45
2.3.4 Decoração e queima.....	46
2.4 Fontes de geração de poeira.....	47
3 SÍLICA CRISTALINA E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL	51
3.1 Polimorfos da sílica.....	52
3.2 Parâmetros de caracterização da poeira de sílica cristalina.....	53
3.3 Métodos de coleta e análise da poeira com sílica cristalina.....	58
3.3.1 Coleta das amostras de material particulado.....	63
3.3.2 Análise gravimétrica.....	65
3.3.3 Difração de raios-X (DRX).....	66
3.4 Limites de exposição ocupacional.....	68
4 RISCOS DA SÍLICA À SAÚDE E ESTIMATIVAS DE EXPOSIÇÃO	73
4.1 Silicose e doenças associadas à exposição à sílica.....	74
4.2 Estimativas de exposição ao risco de silicose no Brasil.....	76
4.2.1 No setor de cerâmicas.....	78
4.2.2 No setor de revestimentos cerâmicos.....	80

	página
5 MATERIAIS E MÉTODOS	83
5.1 Seleção das empresas de fabricação de revestimentos cerâmicos.....	84
5.2 Coleta das amostras de poeira.....	84
5.3 Análise das amostras de poeira.....	89
5.3.1 Gravimetria.....	89
5.3.2 Difração de raios-X (DRX).....	90
5.4 Coleta e análise das amostras de massa cerâmica.....	91
5.5 Determinação das concentrações de poeira.....	92
5.5.1 Concentração de poeira total e respirável.....	92
5.5.2 Concentração de quartzo respirável no ar.....	93
5.6 Apresentação dos resultados.....	93
5.7 Análise estatística dos resultados de concentração de poeira.....	94
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
6.1 Tamanho das partículas e concentrações de poeira e de α -quartzo.....	98
6.2 Significância estatística dos resultados das concentrações de poeira.....	103
6.3 Concentrações de α -quartzo perante os limites de exposição ocupacional.....	105
6.4 Características da poeira com relação às matérias-primas.....	109
6.4.1 Composição da massa cerâmica e concentrações de α -quartzo no ar.....	115
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
REFERÊNCIAS	121
ANEXO – Resultados da análise quantitativa estimada da composição mineralógica da massa cerâmica das empresas.....	137

1 INTRODUÇÃO

A indústria de transformação de bens minerais não-metálicos se apresenta com grande importância no contexto sócio-econômico do País, pois é a base de várias atividades essenciais de desenvolvimento. Dentre os seus segmentos, a indústria de cerâmicas tem um papel relevante pelos diversos produtos voltados para a indústria da construção, em particular para o setor de edificações, como a cerâmica estrutural, a cerâmica sanitária e a cerâmica para revestimento.

Fatores, como a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia, em especial o gás-natural, e o desenvolvimento de tecnologias próprias, fizeram com que, em particular, a indústria da cerâmica para revestimento evoluísse rapidamente nos últimos 12 anos, principalmente na década de 1990.

O crescimento do setor, desde a sua implantação no Brasil, nas décadas de 1950 e de 1960, pode ser avaliado com os dados de produção dos materiais cerâmicos para revestimento disponíveis a partir do ano de 1964, quando a produção de placas cerâmicas foi de 490 mil m² de pisos, combinada com uma produção em torno de 13,6 milhões de m² de azulejos. No ano de 1973 a fabricação estimada de pisos esmaltados já foi da ordem de 12 milhões de m², acompanhada de uma produção em torno de 38 milhões de m² de azulejos (SOUZA SANTOS, 1975). Em 1998, a produção brasileira de placas cerâmicas para revestimento passou para 401 milhões de m² (SEZZI, 2002) alcançando, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento – ANFACER, 594 milhões de m² em 2006 (ANFACER, 2007). Essa produção nacional, mesmo sendo inferior à capacidade instalada, classificou o Brasil em 2005, junto com a Itália, em terceiro lugar no *ranking* dos principais produtores de revestimentos cerâmicos, com 7,6% da produção mundial. A China lidera os países produtores, com uma produção de 41,4%, seguida da Espanha com 8,7% (BRASIL, 2006). Em 2006, o mercado interno absorveu cerca de 486 milhões de m² da produção, confirmando o Brasil como

o segundo consumidor mundial de revestimentos cerâmicos, com a China à sua frente com cerca de 3,5 bilhões de m² (ANFACER, 2007).

Avaliando-se o crescimento do setor de cerâmica para revestimento, em particular quanto à produção do pólo de Santa Gertrudes, no estado de São Paulo, na década de 1990, verifica-se que em apenas quatro anos a produção de placas cerâmicas nessa região duplicou, sendo o pólo de Santa Gertrudes considerado atualmente o maior pólo cerâmico do Brasil. A produção local passou de 7 milhões de toneladas/mês, em 1995, para 10 milhões de toneladas/mês, em 1997, e para 15 milhões de toneladas/mês em 1999 (ZANARDO, 2003). Essa tendência de crescimento do pólo vem se observando também nos anos 2000. Em 2002 registrou-se uma produção de 198 milhões de metros quadrados (m²) que alcançou, em 2006, o valor de 327 milhões de m² (ASPACER, 2007).

Com relação à capacidade de exportação do segmento nacional de fabricação de revestimentos cerâmicos, os dois processos de fabricação das placas cerâmicas existentes no Brasil, com a preparação da massa cerâmica por via úmida ou por via seca, competem em termos de preços, mas ambos apresentam níveis de qualidade que permitem ao País dividir o mercado internacional com países como a Itália e a Espanha, com apreciável quantidade exportada. Em 2002, o Brasil se classificou em quarto lugar entre os países exportadores de materiais cerâmicos para revestimento (FINEP, 2004), mantendo essa posição em 2006 quando alcançou o patamar de 114,4 milhões de m² de placas cerâmicas destinadas a diversos países, especialmente do Continente Americano e da África (BNDES, 2006; ANFACER, 2007).

Em termos de potencial de emprego, o setor de revestimentos cerâmicos apresenta, aproximadamente, 25.000 postos de trabalho diretos (BNDES, 2006; BRASIL, 2006).

Com estes indicadores, o segmento de revestimentos cerâmicos vem merecendo uma atenção especial de diversos setores econômicos e sociais, inclusive nos aspectos ambientais e de segurança e saúde no trabalho, onde ainda são poucas as informações disponíveis sobre os riscos apresentados pelos processos industriais. O que se pressupõe é que, com a introdução de inovações tecnológicas nos processos, com a modificação do tipo de fornos, do tipo de combustível para os fornos e com a introdução de sistemas de ventilação local exaustora, além

da ampliação das indústrias, envolvendo um número expressivo de trabalhadores, tenha se modificado de forma significativa a dimensão dos riscos ambientais e de acidentes e doenças ocupacionais com relação aos tradicionais processos semi-artesanais de fabricação de revestimento cerâmico. Por esse motivo, o segmento produtivo tem sido objeto de ações mais dirigidas para o reconhecimento e o controle desses riscos nos seus ambientes de trabalho. Este trabalho de pesquisa se enquadra dentro dessas ações. Busca conhecer, em particular, a exposição ocupacional à sílica cristalina no setor de revestimentos cerâmicos que, apesar das iniciativas de abordagem da questão já realizadas por diferentes instituições públicas, ainda não se encontra adequadamente dimensionada.

A pesquisa objeto desta dissertação se iniciou no ano de 2005, com apoio da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO, entidade ligada ao Ministério do Trabalho e Emprego que tem por finalidade a realização de estudos e pesquisas pertinentes aos problemas de segurança, higiene, meio ambiente e medicina do trabalho.

O estudo teve por base ações que vinham sendo conduzidas na região Centro-Leste do estado de São Paulo, a partir de denúncias do Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias de Cerâmica, Refratários, Construção, Montagem Industrial, Pavimentação, Obras e do Mobiliário de Limeira e Região (SITICECOM-Limeira) e da Federação dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção, do Mobiliário e Montagem Industrial do Estado de São Paulo (FETICOM-SP) sobre a existência de riscos ocupacionais nas empresas de cerâmicas para revestimento. Os riscos aos trabalhadores foram apresentados ao Ministério Público do Trabalho por meio de relatórios circunstanciados em vistorias realizadas em várias empresas dos municípios de Santa Gertrudes e de Cordeirópolis, no decorrer de 1997 (FETICOM, 1997). Posteriormente, a intervenção no setor se realizou de forma mais concentrada nas empresas situadas no município de Cordeirópolis, por parte da Subdelegacia do Trabalho em Piracicaba (SDT-Piracicaba), da Coordenadoria de Defesa dos Interesses Difusos e Coletivos (CODIN) da Procuradoria Regional do Trabalho da 15ª Região e do Programa de Saúde do Trabalhador da Secretaria Municipal de Saúde de Piracicaba. No decorrer dessas ações, organizou-se, no ano de 2001, um Seminário intitulado “I Seminário Regional sobre Silicose Pulmonar dos Ceramistas de Cordeirópolis, Santa Gertrudes e Rio Claro” e, posteriormente, cursos ministrados pela Faculdade de Ciências

Médicas da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e pela Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO, onde se apresentaram, respectivamente, conteúdos sobre a avaliação médica dos trabalhadores e sobre a avaliação e controle da exposição ocupacional à sílica cristalina na indústria cerâmica de piso esmaltado.

Este estudo é uma colaboração aos trabalhos de caracterização do risco de silicose no pólo de Santa Gertrudes e está orientado para contribuir com o Programa Nacional de Eliminação da Silicose (PNES), implantado no ano de 2002, com ações nas esferas de governo dos Ministérios do Trabalho e Emprego, do Ministério da Saúde, do Ministério da Previdência Social e do Ministério Público do Trabalho. O PNES tem por meta a redução das taxas de incidência da silicose até o ano de 2015 e a eliminação dessa doença pulmonar como problema de saúde pública até o ano de 2030 (GOELZER; HANDAR, 2001; ALGRANTI et al., 2004).

O PNES é uma iniciativa compartilhada com o Programa Global para a Eliminação da Silicose (*ILO/WHO Global Programme for the Elimination of Silicosis - GPES*) da Organização Internacional do Trabalho (OIT) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). O Programa Internacional foi lançado no ano de 1995 para promover planos de ação para o alcance conjunto das metas estabelecidas, por meio de cooperação interinstitucional e obtenção de recursos financeiros e humanos suficientes para a sua efetivação nos diferentes países em que ainda há a ocorrência da silicose (ILO, 2003; FEDOTOV, 2005).

Este trabalho se insere nas ações do Grupo Setorial Tripartite de Cerâmica e Vidro do PNES que tem conduzido, desde agosto de 2005, um “Fórum Interinstitucional Permanente da Indústria de Revestimentos Cerâmicos de Santa Gertrudes”, com o objetivo de acompanhar os resultados de projetos e implementar as ações necessárias para a melhoria dos processos industriais e o controle do risco de silicose no setor de materiais cerâmicos para revestimento. É preocupação atual do Fórum Interinstitucional o conhecimento sobre o risco da exposição dos trabalhadores à poeira no processo de fabricação dos materiais cerâmicos para revestimento, a partir da conformação das placas cerâmicas por prensagem, para que se possam determinar os fatores que podem influenciar no aparecimento de doenças respiratórias ocupacionais no setor, como a silicose e outras doenças associadas à exposição à sílica.

O Fórum conta com a participação de representantes da Associação Paulista das Cerâmicas para Revestimento (ASPACER), do SITICECOM-Limeira, de órgãos de controle e de fiscalização governamentais de âmbito federal, com representações estaduais em São Paulo (Ministério Público do Trabalho; Delegacia Regional do Ministério do Trabalho e Emprego; Instituto Nacional do Seguro Social), de órgãos estaduais e municipais de saúde e de entidades de pesquisa (FUNDACENTRO, UNICAMP, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) (FÓRUM, 2005, 2006).

Com esta pesquisa se procura obter informações sobre o risco de silicose no processo majoritário de fabricação de placas cerâmicas esmaltadas no Brasil, que se realiza com a preparação da massa cerâmica por via seca. Busca-se conhecer a composição mineralógica da massa cerâmica processada pelas empresas e as fontes de geração de poeira e, principalmente, os parâmetros de tamanho das partículas e de composição em sílica cristalina do material particulado disperso no ar do processo por via seca, uma vez que os estudos sobre os riscos à saúde são limitados nesse tipo de processo e necessitam de serem ampliados.

No levantamento das informações existentes nos países produtores de revestimentos cerâmicos, além do Brasil, sobre a poeira gerada na fabricação de placas cerâmicas, encontrou-se um estudo encomendado pela *European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions* (RUSSO et al., 1994) sobre o impacto da política ambiental sobre a pequena e média empresa do setor de revestimentos cerâmicos na Europa. Nesse estudo, é citada a preocupação existente, em alguns países produtores, com as emissões de poeira geradas pelos processos industriais desse segmento, mais especificamente na Alemanha e na Itália. Na Alemanha, já nas décadas de 1920 e de 1930, surgiram as primeiras recomendações legais para as empresas de materiais cerâmicos para revestimento, na área ambiental, de saúde e de segurança no trabalho, originadas por pressão dos órgãos de trabalho (*work councils*) e pelo aumento do conhecimento sobre a silicose. Desde então, a poeira tem sido controlada nas indústrias por meio de sistemas de ventilação e filtros, devido à preocupação com o risco da doença. Na Itália, durante os anos de 1970, por manifestações dos sindicatos dos trabalhadores, surgiram as primeiras preocupações sobre os efeitos das tecnologias de produção de revestimentos cerâmicos sobre a saúde da população. No mesmo período, recomendações gerais sobre controle da poluição do ar começaram a ser aplicadas na comuna de Sassuolo, importante

pólo industrial de cerâmicas na região da Emilia-Romagna, província de Modena, situada ao norte da Itália. Devido à legislação italiana ser regionalizada, outras localidades com indústrias cerâmicas somente se submeteram às determinações legais após a solicitação de sua aplicação pelas autoridades locais (RUSSO et al., 1994).

Na esfera do ambiente ocupacional se desconhece haver, em outros países europeus produtores de materiais cerâmicos para revestimento, normas técnicas ou legais específicas que abordem o controle da poeira nos processos de fabricação de placas cerâmicas. Na Espanha, em Portugal e na França, onde a legislação de segurança e saúde no trabalho apresenta um caráter normativo amplo, aplicado a todos os setores industriais, não se encontram normas específicas para o setor de revestimentos cerâmicos (AGENCIA EUROPEIA, 2007).

No Brasil, em particular, a norma legal que orienta os empregadores sobre a necessidade do reconhecimento, da avaliação e do controle dos riscos ambientais nos locais de trabalho, define diretrizes amplas, de ordem administrativa, de planejamento e de organização, para que toda e qualquer empresa adote um Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), com medidas de controle e sistemas preventivos dos riscos à saúde dos trabalhadores nos processos, nas condições e nos ambientes de trabalho (BRASIL, 1995). Além dessa exigência, a legislação previdenciária nacional, por meio de instruções normativas ao Regulamento da Previdência Social, vincula, desde 2003, os dados registrados pelo PPRA à caracterização dos ambientes de trabalho no estabelecimento do nexo causal e para reconhecimento das atividades de risco para a concessão do benefício de aposentadoria especial (INSS, 2003, 2006). Mais recentemente, a instrução normativa sobre o nexo técnico epidemiológico trouxe às empresas uma maior participação na comprovação da inexistência, em seus processos, de riscos à saúde dos trabalhadores, quando das indenizações previdenciárias (INSS, 2007).

Na abordagem da preservação do ambiente natural e dos impactos da fabricação de revestimentos cerâmicos, surgiram na Europa e no Brasil, durante o ano de 2006, alguns outros estudos e recomendações dirigidas para o setor. Em um documento de referência elaborado para a Comunidade Econômica Européia sobre as melhores técnicas disponíveis para a prevenção e controle integrados da poluição na indústria de cerâmica (EUROPEAN COMMISSION, 2006),

o processo de fabricação de cerâmicas para revestimento de pisos e paredes está incluído, e nele é abordado o impacto da emissão de material particulado, na forma de poeira, para o meio ambiente. No documento, a poeira é considerada, em termos quantitativos, o principal poluente do ar nesses processos, comparativamente ao dióxido de nitrogênio, aos óxidos de enxofre, ao monóxido de carbono e ao dióxido de carbono. No Brasil, mais especificamente no estado de São Paulo, algumas iniciativas relativas à preocupação com a questão ambiental no setor de revestimentos cerâmicos também começam a se concretizar. Uma delas, o “Projeto Corumbataí Cerâmicas” (CETESB, 2006), apesar de inicialmente voltado para o controle da contaminação do solo e das águas, não deixa de representar um caminho para ampliar a visão setorial em relação às medidas de prevenção dos impactos dos processos industriais do pólo cerâmico de Santa Gertrudes sobre o ambiente e a saúde das populações envolvidas. Uma outra contribuição, na esfera ambiental, é o trabalho de Oliveira e Maganha (2006) que aponta para as fontes de geração de poeira nos processos de fabricação das placas cerâmicas e indica uma série de medidas para o seu controle. Ferrari (2000) já havia mencionado, em seu levantamento dos aspectos ambientais nas empresas de revestimentos cerâmicos, a presença do material particulado suspenso no ar como um risco ocupacional.

Pelas recomendações existentes e pelas exigências da legislação brasileira, em particular, os profissionais que atuam nas áreas de meio ambiente, de higiene e medicina ocupacional e de segurança do trabalho nas empresas de revestimentos cerâmicos necessitam de informações técnico-científicas que auxiliem no reconhecimento e na caracterização dos riscos ambientais, para permitir a implantação de efetivos programas de controle e de gerenciamento dos riscos que podem resultar em doenças ocupacionais.

Esta dissertação, além de contribuir com informações sobre as características do material particulado suspenso no ar dos ambientes de trabalho e com a identificação das suas fontes, busca, com os dados apresentados, auxiliar na identificação da necessidade de medidas de controle da poeira, de forma a prevenir o risco de silicose e de outras doenças respiratórias e, assim, agregar valor à qualidade dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos e ao produto final.

O projeto de pesquisa foi proposto para desenvolvimento na área de concentração em

Arquitetura e Construção, dentro da linha de pesquisa de Gestão e Tecnologia do Ambiente Construído, com a perspectiva de que seus resultados possam ser ampliados para a prevenção da exposição a poeiras na aplicação dos materiais cerâmicos para revestimento nas edificações, a partir das informações levantadas sobre as matérias-primas e os processos de transformação para obtenção dos produtos finais. Essas informações, em conjunto com a análise das técnicas e ferramentas utilizadas para a aplicação dos revestimentos cerâmicos nas superfícies de alvenaria, poderão orientar o reconhecimento das características da poeira originada desses materiais na fase de acabamento das edificações na construção civil.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Determinar características da poeira dos ambientes de trabalho do processo de fabricação por via seca de placas cerâmicas esmaltadas.

1.1.2 Específicos

Reconhecer as fontes de geração de poeira no processo por via seca de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento.

Estimar, por meio da coleta de amostras do ar e de análise gravimétrica, as concentrações de poeira total e de poeira respirável em diferentes etapas do processo.

Identificar e quantificar, por difração de raios-X, a sílica cristalina na fração respirável da poeira e estimar a sua concentração no ar nas diferentes etapas do processo.

Caracterizar a composição mineralógica da massa cerâmica processada.

1.2 Justificativa

O PNES adotou, na projeção da dimensão da ocorrência da silicose no Brasil, para definição de áreas setoriais prioritárias para ação, a estimativa de Algranti (1998) de que o número de trabalhadores potencialmente expostos a poeiras contendo sílica, com base nos dados estatísticos oficiais de emprego dos anos de 1990, seria de 6.600.000 (seis milhões e seiscentos mil) trabalhadores, distribuídos por setor de atividade econômica, conforme indicado no Quadro 1.1 (GOELZER; HANDAR, 2001).

QUADRO 1.1 – ESTIMATIVA DO NÚMERO DE TRABALHADORES EXPOSTOS A POEIRAS COM SÍLICA CRISTALINA NO BRASIL, POR SETOR ECONÔMICO

Setor econômico	Nº de trabalhadores expostos
Construção civil	3.800.000
Mineração e garimpo	500.000
Indústria de transformação	2.300.000
TOTAL	6.600.000

FONTE: PNES

Segundo Algranti (2001), mesmo havendo uma diminuição de empregos na indústria de transformação, ao longo dos anos 1990, o aumento da atividade da indústria da construção manteria a estimativa proposta para o ano 2000.

Ribeiro (2003) estimou que, em 2001, somente no mercado formal, foram expostos a poeiras contendo sílica 2.065.935 (dois milhões, sessenta e cinco mil e novecentos e trinta e cinco) trabalhadores, homens e mulheres, por, pelo menos, 30% de suas jornadas de trabalho. Em sua análise, considerou sete setores de atividade econômica no Brasil, sendo que o setor

com maior prevalência de expostos é o setor da construção civil, com 70,1% do total de trabalhadores, de ambos os sexos, considerados definitivamente expostos à sílica. Em seguida, aparecem os setores de minerais não metálicos (cerâmicas, vidro e cimento), com 9,9%, o setor de metalurgia, com 7,6%, o setor de extração mineral, com 4,2%, a agricultura, com 3,6%, o setor de administração de serviços técnicos e de pessoal, com 3,5%, e outros setores com 0,7%. Indica-se, ainda, 0,4% de expostos na indústria da borracha, fumo e couro, que inclui, pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), os trabalhadores da atividade de lapidação de pedras (RIBEIRO, 2003).

Ambas as estimativas, de Algranti (1998) e de Ribeiro (2003), situam a indústria da construção, com seus insumos, e a de minerais não metálicos dentro das linhas prioritárias do PNES no desenvolvimento de pesquisas para caracterizar e prevenir o risco de silicose, ao longo das diversas cadeias produtivas desses setores.

A insuficiência das informações disponíveis sobre a poeira originada nos processos de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento, a partir da argila vermelha, e o diagnóstico de 5 casos de silicose entre os trabalhadores do pólo de Santa Gertrudes (DE CAPITANI, 2005), foram indicativos da necessidade de estudos mais ampliados para estabelecer a relação entre as condições de exposição a poeiras nos ambientes de trabalho e o comprometimento da saúde dos trabalhadores.

A região do município de Santa Gertrudes, no estado de São Paulo, foi escolhida para o estudo por concentrar a maior produção (53%) do setor de revestimentos cerâmicos no País (BNDES, 2006). Outro fator determinante foi que a região também desenvolveu, num passado bem recente, anteriormente aos atuais processos de fabricação de placas cerâmicas esmaltadas, a produção de cerâmicas vermelhas estruturais, principalmente telhas e lajotas (MACHADO, 2003).

A partir do relato histórico de alguns autores (ARAÚJO; ROMACHELLI; MARTINS, 2001; MACHADO, 2003; BETTINGIERI, 2005) sobre a indústria de cerâmicas no estado de São Paulo e sobre o arranjo produtivo local de Santa Gertrudes, verifica-se que, desde o início da produção de telhas, na década de 1920, até meados dos anos de 1980, a atividade industrial

de cerâmica na região teria se realizado por meio de processos quase artesanais em olarias e fábricas estabelecidas, principalmente, por imigrantes italianos que teriam se fixado nos municípios em torno do pólo de Santa Gertrudes. A produção de placas cerâmicas para revestimento na região de Santa Gertrudes se iniciou na década de 1960, quando a recessão econômica da época do início da ditadura militar modificou o panorama da indústria local. As empresas da região deixaram de fabricar telhas, perdendo o mercado para o município de Itu, mais próximo da capital paulista, e passaram, então, a fabricar lajotões extrudados não esmaltados. Da mesma maneira que a produção de telhas, a fabricação de lajotas tinha um processo de preparação da massa artesanal, sem uso de moinhos. Nesses processos, a massa de argila era trabalhada úmida com recursos manuais e de forma rudimentar, por moldagem ou prensagem, ou ambas as técnicas juntas, produzindo as placas de cerâmica que, obtidas por extrusão, eram então moldadas na forma das telhas ou dimensionadas para aplicação como pisos. A queima era realizada em fornos tipo garrafão, antes usados para a produção de telhas, com um grande número de trabalhadores envolvidos. Posteriormente, para acompanhar o desenvolvimento do Sistema Nacional de Habitação, no final da década de 1960, as empresas começaram a investir, importando tecnologia, e se iniciou a produção dos lajotões cerâmicos prensados não esmaltados, com moagem por via seca em moinhos de martelo e umidificação por gotejamento.

Na década de 1970, houve grande desenvolvimento do setor de materiais cerâmicos para revestimento no Brasil, em especial no sul do País, com a utilização de equipamentos e de tecnologias de processos italianos, permitindo a produção dos revestimentos em quase sua totalidade com moagem a úmido e atomização (ARAÚJO; ROMACHELLI; MARTINS, 2001). Em meados de 1975, uma indústria cerâmica denominada Cerâmica São Joaquim, situada no pólo de Santa Gertrudes, iniciou a fabricação de placas cerâmicas esmaltadas, mas somente em peças pequenas (ASPACER, 2006).

Em 1981, começou no Brasil a implantação do processo de monoqueima rápida em fornos contínuos com rolos cerâmicos, levando a alterações importantes nos processos de fabricação dos revestimentos cerâmicos, mas que somente foram incorporadas pelos fabricantes por via seca no final da década de 1980. Os lajotões foram produzidos até o ano de 1987. Durante os anos de 1990, quando se iniciou no Brasil o nivelamento do padrão tecnológico dos

processos de prensagem, de secagem, esmaltação, queima e classificação entre as empresas que produziam por via úmida e as que produziam por via seca, é que as empresas do pólo cerâmico de Santa Gertrudes passaram, efetivamente, a modificar seus métodos produtivos com a aquisição de novos sistemas de preparação da massa para fabricação das placas cerâmicas (ARAÚJO; ROMACHELLI; MARTINS, 2001; MACHADO, 2003).

Com relação às condições de exposição e aos níveis de controle da poeira da argila nos distintos processos realizados na região de Santa Gertrudes, pode-se deduzir que também ocorreram de formas distintas até o início da década de 1990. No passado, por não haver um conhecimento maior sobre a matéria-prima obtida na região, se estabeleceu uma idéia equivocada entre a comunidade local sobre a dimensão do risco apresentado pela exposição à poeira da argila nos processos de fabricação de telhas, tijolos e lajotas. Isso pode ser constatado, em algumas outras oportunidades de trabalho, junto a diferentes setores que lidam com a argila vermelha, em especial na fabricação de tijolos e telhas. Nesses setores, tanto empregadores como trabalhadores, e até mesmo profissionais da área de saúde ocupacional, acreditavam, até há bem pouco tempo, que a argila vermelha não apresentava riscos à saúde dos trabalhadores, limitando assim as ações de prevenção quanto à exposição à poeira dos processos. Talvez essa crença tenha se estabelecido pela falta ou pelo incorreto diagnóstico médico da silicose ou, ainda, pelos processos com a massa cerâmica se realizarem, no passado, com a massa úmida, gerando baixas concentrações de poeira, diminuindo, assim, a exposição ao risco de doenças respiratórias nos setores de cerâmicas vermelhas estruturais e de placas cerâmicas com base avermelhada. A falta de informações sobre a composição química e mineralógica da poeira e de suas características toxicológicas também tem contribuído para o desconhecimento do risco à saúde apresentado pela poeira da argila vermelha.

Outro fator de desconhecimento da magnitude do problema no setor poderia ser devido à silicose ser, em geral, de evolução lenta (ALGRANTI et al., 2003). Portanto, a ocorrência, ou não, de casos da doença nos dias de hoje pode, ainda, ter uma contribuição das condições de exposição à poeira com sílica cristalina ocorridas há 20 ou 30 anos. Deve-se considerar que, nesse período de tempo, os processos das indústrias de cerâmicas do pólo de Santa Gertrudes eram bem diferentes e foram sendo modificados até alcançar os patamares atuais de automatização observados na fabricação de revestimentos cerâmicos esmaltados por via seca.

Por isso, apenas no decorrer dos próximos anos poderá haver uma avaliação real dos impactos destes processos de produção sobre a saúde dos trabalhadores. Para que essa avaliação possa ser corretamente efetuada, são necessárias informações sobre a poeira presente nos atuais processos de fabricação de cerâmicas existentes no município de Santa Gertrudes, para se estabelecer a exposição temporal à sílica cristalina nas indústrias da região e a sua futura correlação com o aparecimento de doenças respiratórias e pulmonares entre a comunidade trabalhadora local.

Nesse sentido, se buscou determinar as características da poeira resultante do processo de fabricação por via seca de materiais cerâmicos para revestimento, por ser o processo majoritário entre as empresas do pólo cerâmico de Santa Gertrudes. Foram utilizadas metodologias de reconhecimento e de avaliação preconizadas pela higiene ocupacional para identificar, em especial, as fontes de geração de poeira e a presença de partículas respiráveis de sílica cristalina na poeira, nas diferentes etapas do processo. Foram analisadas também amostras da massa cerâmica, principal fonte de poeira do processo de conformação das placas cerâmicas por via seca, para conhecer os seus possíveis constituintes minerais. Os resultados são discutidos com base nas informações obtidas no levantamento bibliográfico e documental sobre o tema desta dissertação e em comparação com o limite de exposição ocupacional utilizado como referência para a poeira de α -quartzo, o qual indica a concentração máxima a que poderiam estar expostos os trabalhadores nos locais de trabalho e que, teoricamente, se observada, protegeria a maioria deles do risco de silicose. A discussão dos resultados procura também auxiliar na avaliação da necessidade do controle da poeira, por meio de medidas de engenharia e de ordem geral, bem como de gerenciamento do risco, de forma a minimizar os níveis de exposição dos trabalhadores à poeira nos processos industriais.

1.3 Delimitação do tema

O projeto se delimitou a estudar os processos para a fabricação das placas cerâmicas esmaltadas utilizadas como revestimento de pisos e paredes na construção civil e a analisar a poeira dos ambientes de trabalho quanto ao seu conteúdo em sílica cristalina respirável, bem como conhecer a composição mineralógica da massa cerâmica. O estudo sobre as massas

cerâmicas se limitou a determinar possíveis constituintes que também poderiam estar presentes na poeira originada do seu processamento e interferir nos riscos à saúde decorrentes da exposição ao α -quartzo no processo estudado.

O tema foi desenvolvido junto aos processos de fabricação por via seca em indústrias do pólo cerâmico de Santa Gertrudes, uma vez que a argila vermelha, utilizada como principal matéria-prima nestes processos, apresenta teores de quartzo importantes em sua composição.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em sete capítulos, com este de introdução. No capítulo inicial são colocadas as premissas que determinaram a sua realização, os seus objetivos, a justificativa e a delimitação do tema. Inclui dados setoriais da indústria de revestimentos cerâmicos no Brasil.

No segundo capítulo é feita uma abordagem sobre os materiais cerâmicos para revestimento. Apresenta-se o panorama da indústria nacional e do pólo de Santa Gertrudes, os processos de fabricação, as matérias-primas empregadas nos processos e as fontes de geração de poeira.

O terceiro capítulo inclui uma revisão sobre o que vem a ser a sílica cristalina e sua importância como componente da poeira dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos, a partir das matérias-primas utilizadas. Indicam-se os métodos para avaliação da exposição à poeira nos ambientes de trabalho e os limites de exposição ocupacional de referência.

No quarto capítulo é feita uma apreciação sobre as doenças respiratórias que poderão acometer os trabalhadores pela exposição à poeira de sílica cristalina e se apresentam indicadores sobre a ocorrência dessa exposição e da silicose no Brasil e no setor de materiais cerâmicos, em particular no setor de revestimentos cerâmicos.

A metodologia aplicada ao estudo, com a definição das empresas estudadas, descrição dos métodos de avaliação do material particulado disperso no ar e de análise da massa cerâmica e os cálculos para determinação das concentrações de poeira e de α -quartzo nos ambientes de trabalho, é apresentada no quinto capítulo.

Os resultados e discussão indicam-se no sexto capítulo. As considerações finais, com as conclusões e sugestões para continuação deste estudo, constam do sétimo capítulo.

2 REVESTIMENTO CERÂMICO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997, p. 1), revestimento cerâmico “é o conjunto formado pelas placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte”. As placas cerâmicas para revestimento se constituem num material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas, utilizadas para revestir pisos e paredes, sendo conformadas, principalmente, por extrusão¹ ou por prensagem². Podem ser esmaltadas ou não esmaltadas, identificadas, respectivamente, pelos símbolos GL (*glased*) ou UGL (*unglased*), conforme a norma ISO 13006 – *Ceramic tile: Definitions, classification, characteristics and marking* (ISO, 1995 apud ABNT, 1997).

O revestimento cerâmico também pode ser classificado de acordo com o processo de preparação da massa que irá originar o material cerâmico. As placas cerâmicas esmaltadas podem ser produzidas por meio de dois processos distintos: com moagem da matéria-prima por via úmida e com moagem por via seca. Suas aplicações principais são como acabamento de pisos e paredes em diversos ambientes e no revestimento de fachadas, piscinas, saunas, lareiras e afins.

2.1 A indústria de revestimento cerâmico

A indústria de materiais cerâmicos para revestimento é um segmento da indústria de

¹ Extrusão – processo de fabricação de placas cerâmicas para revestimento, cujo corpo foi conformado no estado plástico em uma extrusora (maromba) para, a seguir, ser cortado. Produtos extrudados são denominados como placas gêmeas e extrudados planos (ABNT, 1997, p. 2).

² Prensagem – processo de fabricação de placas cerâmicas para revestimento cujo corpo foi conformado em prensas, a partir de uma mistura finamente moída (Id. 1997, p. 2).

transformação inserida na fabricação de produtos de minerais não-metálicos. É classificada pelo código 23.42-7, de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), elaborada pela Comissão Nacional de Classificação (CONCLA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2007), e faz parte da cadeia produtiva da indústria da construção. O setor de revestimentos cerâmicos engloba diferentes produtos que são aplicados na construção civil, sendo comercialmente denominados como: azulejos, ladrilhos, pastilhas ou mosaicos, placas cerâmicas, vidrados e não vidrados (FINEP, 2004).

Este estudo se realiza nos processos de fabricação de placas cerâmicas esmaltadas, com moagem da matéria-prima por via seca e conformação por prensagem, e que podem ser utilizadas como revestimento de pisos e de paredes.

Segundo dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES (2006), o parque industrial nacional se concentra em três pólos principais: Santa Gertrudes e Mogi-Guaçu, no estado de São Paulo, e Criciúma, no estado de Santa Catarina. O segmento industrial possui 94 empresas ativas, com 117 plantas produtivas, com capacidade instalada estimada, em 2006, para produção de 684 milhões de m² de placas cerâmicas (BRASIL, 2006) e uma produção realizada, no ano de 2006, de 594 milhões de m² (ANFACER, 2007). As empresas do setor são, em quase sua totalidade, de capitais nacionais e consideradas, majoritariamente, de pequeno e médio porte, segundo critério de produção mensal (IPT, 2001 apud BNDES, 2006). Machado (2003) indicou, em seu trabalho, que a capacidade produtiva das empresas produtoras de revestimentos cerâmicos do arranjo produtivo local (APL) de Santa Gertrudes variava entre 80 mil m²/mês a 1200 mil m²/mês e que, percentualmente, 20% das empresas são consideradas grandes empresas (mais de 500 mil m²/mês), 40% são médias (entre 300 e 500 mil m²/mês) e 40 % são pequenas (menos que 300 mil m²/mês).

Dados divulgados, em 2006, pela Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia indicam a região Sudeste como a de maior produção de cerâmica para revestimento do País, representando 64% da produção nacional. A região Sul detém 24% da produção, a região Nordeste 8% e a região Centro-Oeste 4%. Os principais produtos gerados pelo setor para a indústria da construção são revestimentos para pisos (68%), paredes (26%) e fachadas (1%) e porcelanatos (5%) (BRASIL, 2006).

No estado de São Paulo se encontram 56 empresas, sendo que o conglomerado de indústrias de Santa Gertrudes representa 82% da produção do estado e 53% da produção nacional, distribuída entre 45 empresas na região (BNDES, 2006). O pólo de Mogi-Guaçu representa 6,5% da produção do estado, com 11 empresas distribuídas nos municípios de Mogi - Guaçu, Diadema, São Caetano do Sul e Suzano, com extensão até Jundiaí e Estiva Gerbi (BNDES, 2006).

A maioria das empresas que utiliza o processo por via úmida se concentra na região sul do País, mais especificamente nos estados de Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. A produção de cerâmicas de queima branca ou clara para revestimento, distribuída principalmente em torno do município de Criciúma, no sul do estado de Santa Catarina, reúne, atualmente, nesse estado, 17 empresas, responsáveis por 23% da produção nacional. O pólo de Criciúma abrange também as localidades de Tubarão, Urussunga, Imbituba, Tijucas e Morro da Fumaça. Outras quatro empresas se localizam em Mato Grosso do Sul, duas empresas no Paraná e duas no Rio Grande do Sul. Nos demais estados brasileiros, se encontram três empresas em Pernambuco, duas empresas no Ceará, no Espírito Santo e em Sergipe, e uma empresa no Rio de Janeiro, em Alagoas, na Bahia e na Paraíba (KIECKBUSCH; LOPES, 2005; BNDES, 2006).

2.1.1 O pólo de Santa Gertrudes

Segundo o BNDES (2006), o pólo de Santa Gertrudes, onde se realizou esta pesquisa, engloba os municípios de Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Rio Claro, Limeira e Corumbataí. A Associação Paulista das Cerâmicas para Revestimento (ASPACER) registra os municípios de Ipeúna, Piracicaba, Iracemápolis e Araras, na região Centro-Leste do estado de São Paulo, como também fazendo parte do APL. Na figura 2.1 indica-se a localização geográfica do município de Santa Gertrudes, a partir do qual se irradia a área que abrange o APL.

O APL de Santa Gertrudes apresenta, principalmente, processos de fabricação com moagem por via seca, utilizando apenas um tipo de matéria-prima, em 42 plantas industriais de



FONTE: FUNDAÇÃO SEADE, 2003

Figura 2.1 – Mapa do estado de São Paulo com sua divisão político-administrativa e localização do pólo cerâmico de Santa Gertrudes

placas semiporosas de base vermelha. Segundo Zanardo (2003), a realização do processo com moagem por via seca na região é possibilitada pela composição mineralógica, textural e química das rochas que compõem a reserva mineral da Formação Corumbataí (Permocarbonífero da Bacia Sedimentar do Paraná), de onde é extraída a argila caulínica, ou argila vermelha, a partir da qual se produzem as cerâmicas para revestimento com base avermelhada.

O pólo de Santa Gertrudes possui, também, três plantas industriais com o processo com moagem por via úmida de placas semiporosas de base clara, sendo duas de uma mesma empresa, e três plantas para fabricação de peças especiais, como faixas e tozzetos, pelo processo por via úmida. O pólo abrange, ainda, duas indústrias de fabricação artesanal de placas cerâmicas extrudadas (MOTTA et al., 2004).

Dados de caracterização do pólo de Santa Gertrudes, publicados pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), indicam que o número de empregados no setor de cerâmicas esmaltadas na região é de 7.300 trabalhadores (CETESB, 2006).

2.2 Materiais constituintes

Os materiais que constituem a placa cerâmica para revestimento são a argila prensada, com ou sem adições, que forma o biscoito ou suporte (base), o engobe de cobertura e de proteção e o esmalte.

Os três elementos (biscoito, engobe e esmalte), depois de submetidos em conjunto a um processo de queima em temperatura de sinterização, entre 900 °C e 1100 °C, na qual o material sofre início de fusão (OLIVEIRA, 2000), originam a placa cerâmica para revestimento.

2.2.1 Argila e adições

A argila é a principal matéria-prima dos revestimentos cerâmicos. Em geral, é comum se misturar mais que um tipo de argila para se obter a massa cerâmica com a plasticidade e demais características necessárias para o seu processamento. Não existe uma definição mineralógica, no sentido amplo, para o termo argila. A denominação argila tanto pode ser aplicada às partículas de diâmetro muito pequeno, encontradas na análise de sedimentos e de solos, como dada a diferentes sedimentos em função da sua composição química. Na literatura se encontra referência ao “tamanho argila” ou “fração argila” para partículas com diâmetro equivalente inferior a 4 µm ou a 2 µm (argila coloidal) (SOUZA SANTOS, 1975).

Souza Santos (1975, p. 1) apresenta uma proposta de definição para a argila como sendo “um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade”.

As argilas são raramente encontradas separadamente, ou seja, são misturas de diferentes tipos de argilas, junto com micro cristais de carbonatos, feldspatos, micas e quartzo. Têm uma composição atribuída, essencialmente, a um de dois grupos: ao denominado de minerais de argila, ou argilominerais, que pela sua natureza conferem às argilas as suas propriedades plásticas, e ao grupo dos minerais acessórios. As partículas dos minerais de argila podem ser cristalinas ou amorfas, lamelares ou fibrosas e, quimicamente, todos os argilominerais são silicatos hidratados de alumínio (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1992).

Os argilominerais pertencem ao grupo dos filossilicatos e são formados basicamente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, com teores de elementos alcalinos e alcalino-terrosos. As argilas podem apresentar graus diferentes de pureza e cristalinidade e a sua composição química pode variar segundo a extensão de substituição do silício, do alumínio e do magnésio por outros cátions, segundo a natureza e quantidade dos cátions interstratos e segundo, ainda, o teor de água. Segundo Souza Santos (1975), duas argilas podem diferir tanto pela composição mineralógica quantitativa e qualitativa, como pelas demais propriedades químicas, físicas, mecânicas e tecnológicas.

Diferenças entre os minerais de argila permitem a sua subdivisão em vários grupos. Segundo Deer, Howie e Zussman (1992) os mais importantes grupos dos minerais argilosos estratificados são a caulinita, a illita, a esmectita, a vermiculita e a paligorsquita. A clorita também ocorre como mineral de argila, sendo, em geral, classificada como um grupo à parte dentro dos filossilicatos. O Quadro 2.1 indica os principais grupos de argilominerais das argilas empregadas na fabricação por via seca de revestimentos cerâmicos (RAMOS; FORMOSO, 1975; GASPAR JÚNIOR, 1999), com os respectivos minerais pertencentes a cada grupo (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1992) e a fórmula química geral para descrevê-los, segundo a lista de minerais aprovada pela *Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification* da *International Mineralogical Association* (IMA/CNMNC, 2007).

Para a obtenção da massa cerâmica das placas de revestimento se utilizam argilas plásticas, argilas fundentes e caulim. As argilas plásticas são compostas de caulinita e outros argilominerais subordinados (illita e esmectita), com variável conteúdo de quartzo, feldspatos, micas e matéria orgânica, e conferem resistência mecânica e plasticidade antes da queima. As

argilas fundentes são formadas por uma mistura de argilominerais que incluem illita, caulinita e esmectita, com proporções variadas de quartzo e outros minerais não plásticos, com presença de óxidos fundentes, como o óxido de ferro. O caulim é composto essencialmente pelo argilomineral caulinita e pode ser utilizado para adição ou substituição das argilas plásticas. Para conferir determinadas características às placas cerâmicas, durante o processamento térmico, são empregadas também outras matérias-primas como carbonatos (calcário, calcita, dolomita), talco e filito (MOTTA et al., 1998).

QUADRO 2.1 – GRUPOS DE ARGILOMINERAIS E CONSTITUINTES

GRUPO	MINERAIS	FÓRMULA QUÍMICA
Caulinita	caulinita; dickita; nacrita; haloisita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
Illita	illita; hidromicas (muscovita); fengita; bramalita; glauconita; celadonita	$(K, H_3O)Al_2(Si_3Al)O_{10}(H_2O, OH)_2$
Esmectita	montmorillonita; beidellita; nontronita; hectorita; saponita; sauconita	$(Na, Ca)_{0,3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$
Clorita	Clinocloro	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$

A massa cerâmica para a fabricação de revestimentos cerâmicos, por via seca, é constituída por uma ou duas argilas de diferentes jazidas da Formação Corumbataí, com grau variável de alteração nas suas características. Zanardo (2003) aponta que, de modo geral, as rochas mais alteradas normalmente são mais plásticas, mais caulínicas e mais refratárias e as menos alteradas mais fundentes e menos plásticas. Desta forma, a mistura destes diferentes tipos da mesma matéria-prima é suficiente para gerar a resistência mecânica, nas placas cerâmicas verdes e secas, necessária para os trabalhos de esmaltação e queima. Almeida e Barbosa (1953 apud GASPAR JÚNIOR, 1999), em estudo mineralógico pioneiro realizado em algumas das reservas exploradas à época, identificaram a predominância de rochas sedimentares como siltitos, argilitos e folhelhos, intercalados com arenitos finos e leitos carbonáticos, com ocorrência de camadas e nódulos de sílex, veios de quartzo fibroso, calcita, lâminas de gibbsita, com camadas rasas e delgadas de calcário. Ramos e Formoso (1975) indicam que a illita é o

argilomineral dominante na Formação Corumbataí, seguido da caulinita, da clorita e da montmorillonita. Estudos mais recentes (GASPAR JÚNIOR, 1999; GASPAR JÚNIOR et al., 2001) confirmam a presença dos argilominerais caulita e illita, como predominantes, juntamente com quartzo, feldspatos alcalinos, calcita, brucita, dolomita, óxidos de ferro (hematita e magnetita), hidróxido de ferro, na forma de goethita, óxido de titânio, na forma de anatásio e de rutilo, e hidróxido de alumínio (gibbsita).

Segundo Zanardo (2003), a composição química da argila utilizada no pólo de Santa Gertrudes, em consonância com a mineralogia, varia de nível para nível e lateralmente dentro de um mesmo nível das jazidas da Formação Corumbataí. Zanardo (2003, p.223) indica que as análises químicas realizadas em amostras dessa argila mostram valores médios de composição química conforme os indicados no Quadro 2.2.

QUADRO 2.2 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DA ARGILA DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{total}	Na ₂ O + K ₂ O	MgO + CaO	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	LOI (PF)*
% em massa	65-67	15-17	4,5-6,0	2,5-3,0	2,0-2,5	0,1	0,7	0,15	4,0-6,0

FONTE: ZANARDO, 2003

NOTA: (*) PF - Perda ao fogo

A importância das rochas da Formação Corumbataí, utilizadas pelas empresas da região como única matéria-prima para a produção dos revestimentos cerâmicos de base avermelhada, está na possibilidade de se usarem ciclos de queima rápida (25 a 35 minutos), com temperaturas relativamente baixas (± 1050 °C), o que diminui os custos de produção. Isto se deve à pequena dimensão dos clastos de quartzo (fragmentos < 100 μ m), e sua proporção menor do que 20%, bem como à presença significativa de feldspatos, à presença de teor relativamente alto de ferro, o que facilita a sinterização, e ao teor elevado de álcalis contidos nos argilominerais e nos feldspatos (ZANARDO, 2003).

A argila pode ser fornecida às empresas de revestimentos cerâmicos das seguintes maneiras: a) bruta (extraída e fornecida com a umidade *in natura*); b) seca (extraída com posterior secagem em pátios abertos ou com secagem em secadores a gás); c) moída (massa pronta, ou seja, extraída com posterior secagem, moagem, mistura e umidificação nas centrais de massa) (MACHADO, 2003).

De maneira geral, a argila utilizada é obtida por intermédio de mineradoras e beneficiadoras das próprias empresas produtoras de revestimentos cerâmicos, por mineradoras e beneficiadoras independentes (centrais de massa) e por mineradoras independentes. Os grupos empresariais de grande porte possuem a sua própria jazida e realizam a própria atividade de extração e beneficiamento da argila. A atividade de extração de argila compreende 20 minerações no pólo de Santa Gertrudes, sendo que 12 jazidas são vinculadas às empresas (MOTTA et al., 2004; MACHADO, 2003). A moagem da argila é feita, na sua maioria, nas instalações da indústria cerâmica. Algumas empresas mineradoras e beneficiadoras ligadas às empresas cerâmicas, além de fornecerem para suas controladoras, vendem a argila bruta ou moída para terceiros (MACHADO, 2003).

Segundo Machado (2003) existem duas empresas produzindo massa pronta, sendo uma com capacidade de produção da ordem de 30 mil toneladas/mês e a outra com capacidade para 20 mil toneladas/mês de argila bruta e moída. Gaspar Júnior (1999) indica existir uma empresa, cuja razão social é UNICER, que fornece matéria-prima já preparada (massa pronta) para empresas do pólo de Santa Gertrudes, a partir de lavra e britagem dos compostos argilominerais, moagem, homogeneização, sazonalidade ou descanso, umidificação, silagem e transporte para as indústrias. Machado (2003) refere também haver pelo menos seis mineradoras independentes que produzem argila bruta e seca.

2.2.2 Esmalte e engobe

O esmalte e o engobe são recobrimentos aplicados sobre a superfície do biscoito para fornecer determinadas características de acabamento e qualidade à placa cerâmica.

O engobe é uma cobertura argilosa com um acabamento fosco, podendo ser permeável ou impermeável, branco ou colorido, que é aplicado sobre a face superior do suporte para prepará-lo para receber o esmalte, ou na base, para torná-lo antiaderente.

O esmalte é uma cobertura vitrificada impermeável aplicada sobre o engobe e o biscoito cerâmico (ABNT, 1997), com a finalidade de tornar a placa cerâmica resistente à absorção de água, aumentar a resistência mecânica e fornecer determinados efeitos estéticos.

Os esmaltes e engobes são preparados a partir do vidro de esmalte cerâmico, ou frita, que é um produto similar ao obtido na primeira fase de fabricação do vidro comum. No seu processo de fabricação, as matérias primas são misturadas em proporções apropriadas e são submetidas a temperaturas em torno de 1.300 °C por uma a três horas em um forno de fusão. Posteriormente, após ocorrer a fusão uniforme dos materiais, a mistura é submetida a um resfriamento brusco, com ar ou com água, para que não ocorra a cristalização, formando-se milhões de partículas vítreas friáveis. Essas partículas constituem a frita. As fritas cerâmicas são preparadas com uma mistura de matérias-primas de natureza cristalina, sendo as mais usuais o quartzo, o caulim, os feldspatos alcalinos, sódico e potássico, o ácido bórico cristalizado, a colemanita, o espodumênio, o talco, a dolomita, os carbonatos de cálcio, de bário e de sódio, os nitratos de sódio e de potássio, os óxidos de zinco e de chumbo (mínio) e o silicato de zircônio (zircão) (SANCHEZ, 1997).

O esmalte cerâmico é constituído, basicamente, pela mistura de 90% a 95% de fritas, de diferentes tipos, com plastificantes, como caulins e argilas plásticas, e aditivos orgânicos, como colas (OLIVEIRA, 2000).

O engobe é uma suspensão mais diluída produzida com as mesmas matérias-primas dos esmaltes. É constituída, geralmente, por 30% a 40% de fritas, silicato de zircônio, argilas tipo *ball-clay* e, eventualmente, feldspatos e quartzo. As argilas conhecidas como *ball-clay* são argilas brancas, muito plásticas e refratárias, extraídas como bolas consistentes, parcialmente secas, e se apresentam com partículas muito pequenas ($< 2\mu\text{m}$) (SOUZA SANTOS, 1975; SENNA, 2003). Segundo Galesi e colaboradores (2005) essas argilas são tipicamente cauliníticas e diferem entre si em função da natureza e da proporção dos minerais acessórios que

ocorrem juntamente com a caulinita. Em estudo conduzido por esses autores sobre a composição de argilas utilizadas comumente pelos coloríficos para a preparação de engobes, se encontrou, pela análise mineralógica racional das argilas, que, além da caulinita, aparecem proporções elevadas de quartzo na maioria delas, juntamente com muscovita e gibbsita e, em algumas dessas argilas, se apresenta a montmorillonita, além de óxidos de ferro e de titânio (GALESI et al., 2005).

2.3 Processos de fabricação

A cadeia produtiva dos materiais cerâmicos para revestimento tem como elos principais a mineração, a produção da massa cerâmica, a fabricação dos revestimentos, envolvendo a conformação, esmaltação, queima, seleção e embalagem, e, ainda, a construção civil, onde ocorre a etapa de assentamento das placas cerâmicas nas obras de edificação, cujo processo é determinante para a qualidade do produto durante a sua vida útil. O fornecimento de insumos, como fritas e esmaltes, pigmentos e corantes, é um elo secundário (MACHADO, 2003).

A fabricação das placas cerâmicas para revestimento se realiza com as etapas clássicas do processo cerâmico que incluem a dosagem e moagem de matérias-primas de origem mineral, a conformação das peças cerâmicas, por prensagem ou extrusão, o acabamento e a limpeza e a posterior esmaltação e decoração, antes da queima.

No Brasil, a fabricação de revestimentos cerâmicos em escala industrial se realiza por dois processos de produção (moagem por via seca e moagem por via úmida), com moldagem por prensagem. Estes resultam, respectivamente, na produção da cerâmica de base vermelha e da cerâmica de base clara. No processo por via seca a argila é moída a seco e processada com umidade em torno de 6 a 7%. No processo por via úmida a matéria-prima é moída úmida por meio da mistura com água e processada com um conteúdo de umidade em torno de 5 a 6%. A aplicação de um ou de outro processo é definida pelo tipo de argila empregada.

Ambos os processos ocorrem em linhas contínuas automatizadas, a partir da alimentação da argila estocada nos pátios e galpões das empresas, por meio de caminhão ou pá carregadeira, nas caixas alimentadoras dos moinhos. As diferenças entre os processos por via seca e por via úmida encontram-se, principalmente, nas fases anteriores à conformação nas prensas, envolvendo diferentes operações unitárias para se obter a cominuição e o fracionamento granulométrico da matéria-prima e os teores de umidade requeridos para o trabalho com a argila nas prensas.

No processo por via úmida, a massa cerâmica pode ser composta por várias argilas de tonalidades claras e outros minerais que, ao se adicionarem à água para moagem, formam uma massa mais homogênea do que no processo por via seca.

No processo por via seca, se utiliza uma ou duas argilas de características similares, com coloração basicamente avermelhada, variando de tonalidades entre roxo, marrom, laranja, amarelo, cinza e verde. A matéria-prima envolve argilas mais plásticas e refratárias e argilas mais fundentes e menos plásticas, de mesma origem, que, depois de moída, é selecionada por granulação e peneiramento, originando a massa cerâmica, ou corpo cerâmico, para prensagem.

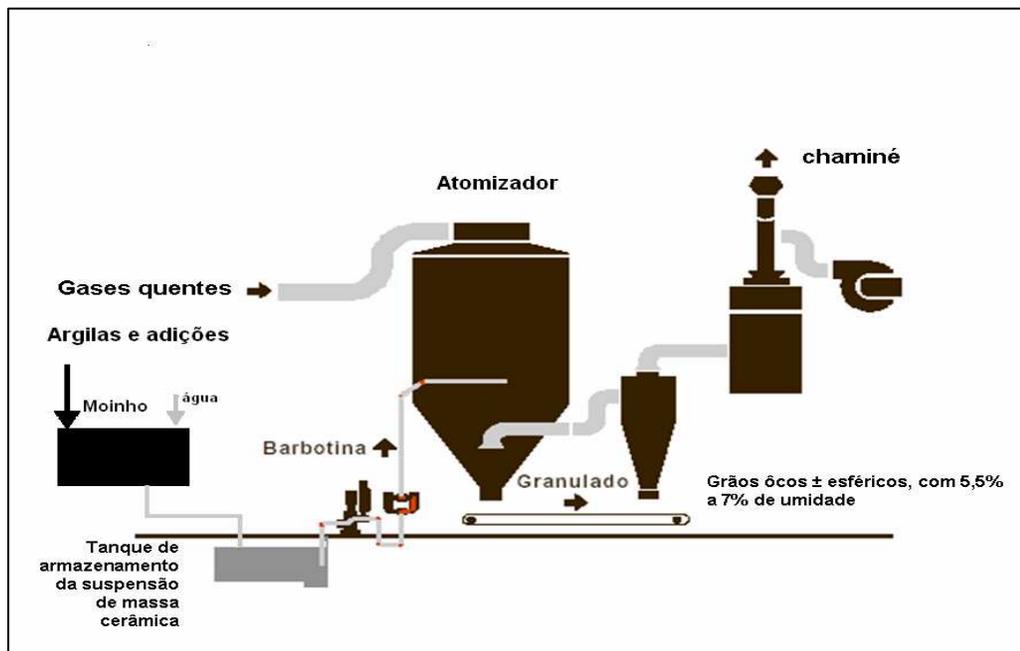
A prensagem é a etapa na qual se dá a forma desejada ao material cerâmico. A massa cerâmica é prensada em prensas hidráulicas na forma de placas que sofrerão secagem antes de seguir para as etapas de acabamento e decoração (esmaltação, serigrafia e flexografia) e monoqueima em fornos contínuos com temperaturas variando em torno de 1000 °C a 1100 °C.

Em 2006, a produção de revestimentos cerâmicos foi de 65% com moagem por via seca e de 35% com moagem por via úmida (ANFACER, 2007).

2.3.1 Moagem por via úmida

No processo por via úmida, são utilizadas argilas plásticas misturadas com vários outros minerais (quartzo e calcita, por exemplo). Essa mistura é hidratada e moída em moinhos

de bola, formando uma massa líquida chamada barbotina, com um conteúdo de umidade de cerca de 42% do peso seco. A barbotina é, então, atomizada, ou seja, é borrifada em um equipamento denominado atomizador (*spray-dryer*), onde entra em contato com um ciclone de ar quente sofrendo um processo de secagem e de formação de grânulos esféricos que consistem na massa para prensagem, originando placas com coloração branca ou clara após a queima. As demais etapas do processo ocorrem da mesma forma que no processo por via seca, sendo descritas a partir da seção 2.3.3. A Figura 2.2 apresenta o esquema do processo de preparação da massa cerâmica, por via úmida, que antecede ao processo de conformação nas prensas.



FONTE: www.spaintiles.info/documentos/proceso.pdf

Figura 2.2 – Esquema do processo de produção da massa cerâmica por via úmida

2.3.2 Moagem por via seca

No processo por via seca se empregam mais comumente misturas de argilominerais (argilas cauliníticas ou illíticas) de queima avermelhada. A mistura é seca, até em torno de 5% em peso de água, e é moída em moinhos de martelo e pendulares combinados. Esses moinhos têm por função desagregar a matéria-prima para posterior seleção granulométrica, por

peneiramento, e umidificação e homogeneização, em moinhos granuladores, antes da alimentação dos silos das prensas. A massa cerâmica, após conformação nas prensas, origina as placas de cerâmica vermelha.

Nos últimos 10 anos, novas tecnologias foram introduzidas pelas empresas que fabricam cerâmica para revestimento, a partir da argila vermelha, principalmente com a introdução de moinhos pendulares de altíssima eficiência.

2.3.3 Esmaltação

A esmaltação é um processo que consiste no recobrimento das placas cerâmicas cruas, antes da queima (“placas verdes”), após a secagem das peças em secadores horizontais ou verticais com temperatura em torno de 120 °C. Ocorre em linhas contínuas no processo, aplicando-se, por meio de cortina (véu campana) ou pulverização, uma camada fina de engobe e, sucessivamente, uma ou mais camadas da suspensão do esmalte, para se obter a vitrificação e os efeitos desejados de resistência à abrasão e de coloração do revestimento cerâmico. O engobe de cobertura é aplicado antes do esmalte sobre as placas cerâmicas “verdes” (biscoito) para, entre outras funções, inibir reações entre o esmalte e as impurezas da massa cerâmica, e diminuir a absorção do esmalte pela peça crua. O engobe se aplica, também, sobre o relevo da base da placa (tardoz ou muratura), ao final da linha de decoração. As placas cerâmicas produzidas pelo processo de monoqueima, em fornos contínuos com esteira transportadora de rolos, possuem a aplicação de engobe no lado do tardoz com o objetivo de evitar que as placas sofram aderência nos rolos de cerâmica refratária durante sua movimentação dentro do forno.

Efeitos de textura e rugosidade do revestimento cerâmico são obtidos também nessa etapa por meio da granilha, que consiste num material vítreo de diferentes granulometrias e que é aplicado na superfície da placa por pulverização, ao final de toda a linha de esmaltação e decoração.

Na década de 1990, as primeiras empresas de coloríficos (esmaltes e fritas), vindas da

Espanha, se instalaram no Brasil, principalmente no estado de Santa Catarina. Em 2005, estavam em operação cerca de 12 empresas de origem espanhola, italiana, alemã e americana, junto com um número menor de pequenas e médias empresas nacionais, sendo que as empresas maiores têm capacidade de fornecer de 2.500 a 3.000 toneladas/mês de insumos químicos para a indústria de revestimentos cerâmicos, abrangendo: fritas, engobes, granilhas, pastas cerâmicas, pastas serigráficas, corantes e tintas para decoração (MACHADO, 2003; KIECKBUSCH; LOPES, 2005).

As empresas de revestimentos cerâmicos são auxiliadas por esses coloríficos na preparação de suas formulações para conferir as características de qualidade e acabamento a seus produtos. As misturas dos componentes dos esmaltes e engobes já vêm prontas dos coloríficos, realizando-se, nos processos industriais, no setor de preparação de esmaltes e engobe, a sua moagem com água, em moinhos de bola, e pequenas adições dos produtos químicos e corantes necessários para a formulação completa. Após a moagem, os esmaltes e o engobe são homogeneizados por meio de misturadores (girândolas) e peneirados, antes de sua aplicação sobre o biscoito ou suporte cerâmico.

2.3.4 Decoração e queima

Após o recobrimento do suporte cerâmico com o esmalte, são aplicados os padrões de decoração estabelecidos para a linha de produção, com o uso atual de máquinas serigráficas rotativas, em substituição às planas, e máquinas de impressão flexográfica. Esses processos fornecem diversos efeitos à superfície das placas, que só se distinguem completamente após a queima.

Os fornos utilizados são fornos contínuos, do tipo túnel com rolamento, onde a monoqueima ocorre em ciclos rápidos, num tempo em torno de 35 minutos, em uma temperatura máxima de 1100 °C e com diferentes gradientes de aquecimento e resfriamento, ao longo do processo.

Ao final da linha do processo de fabricação, as placas cerâmicas são inspecionadas, selecionadas em máquinas de classificação e embaladas, seguindo para o estoque e expedição.

2.4 Fontes de geração de poeira

As diferenças nas matérias-primas e nos processos de preparação da massa cerâmica para confecção das placas cerâmicas, entre o processo por via seca e o processo por via úmida, poderão modificar a geração e a composição da poeira nas fases que precedem a esmaltação.

A poeira se forma, principalmente, nos processos de beneficiamento, transferência e prensagem da massa cerâmica e na alimentação e moagem das matérias-primas, seja na linha principal de fabricação do material cerâmico ou na preparação dos esmaltes e do engobe. No decorrer do processo, surgem fontes secundárias, originadas dos procedimentos de acabamento das placas cerâmicas prensadas, de quebra dos materiais, de processos internos de transporte de resíduos e de limpeza das áreas de trabalho.

As partículas presentes na poeira, em cada uma dessas etapas, apresentam composição e características de fratura e de tamanho em função da composição dos materiais sólidos que originaram a poeira e das fontes de ruptura mecânica desses materiais. Essas características podem ser modificadas, dependendo da movimentação e processamento das matérias-primas, do manuseio e destinação dos resíduos dos materiais e dos equipamentos e ferramentas utilizadas na obtenção dos produtos acabados.

A concentração de poeira no ar é determinada pela quantidade em massa do material particulado em suspensão no ambiente e pelo volume de ar existente no local em que este se encontra disperso. Pode variar para cada composto presente no material de origem, devido às características de formação de cada partícula presente na poeira e ao seu comportamento aerodinâmico quando dispersa no ar, o que determina sua maior ou menor permanência em suspensão.

A velocidade, a temperatura e a umidade relativa do ar, assim como diferenças em quantidade e qualidade das fontes de geração, de emissão e de dispersão da poeira nos locais de trabalho, podem alterar, também, ao longo do tempo, as concentrações do material particulado suspenso no ar, num mesmo processo industrial.

A Figura 2.3 apresenta um fluxograma do processo por via seca, com a indicação das fontes de geração de poeira em cada etapa.

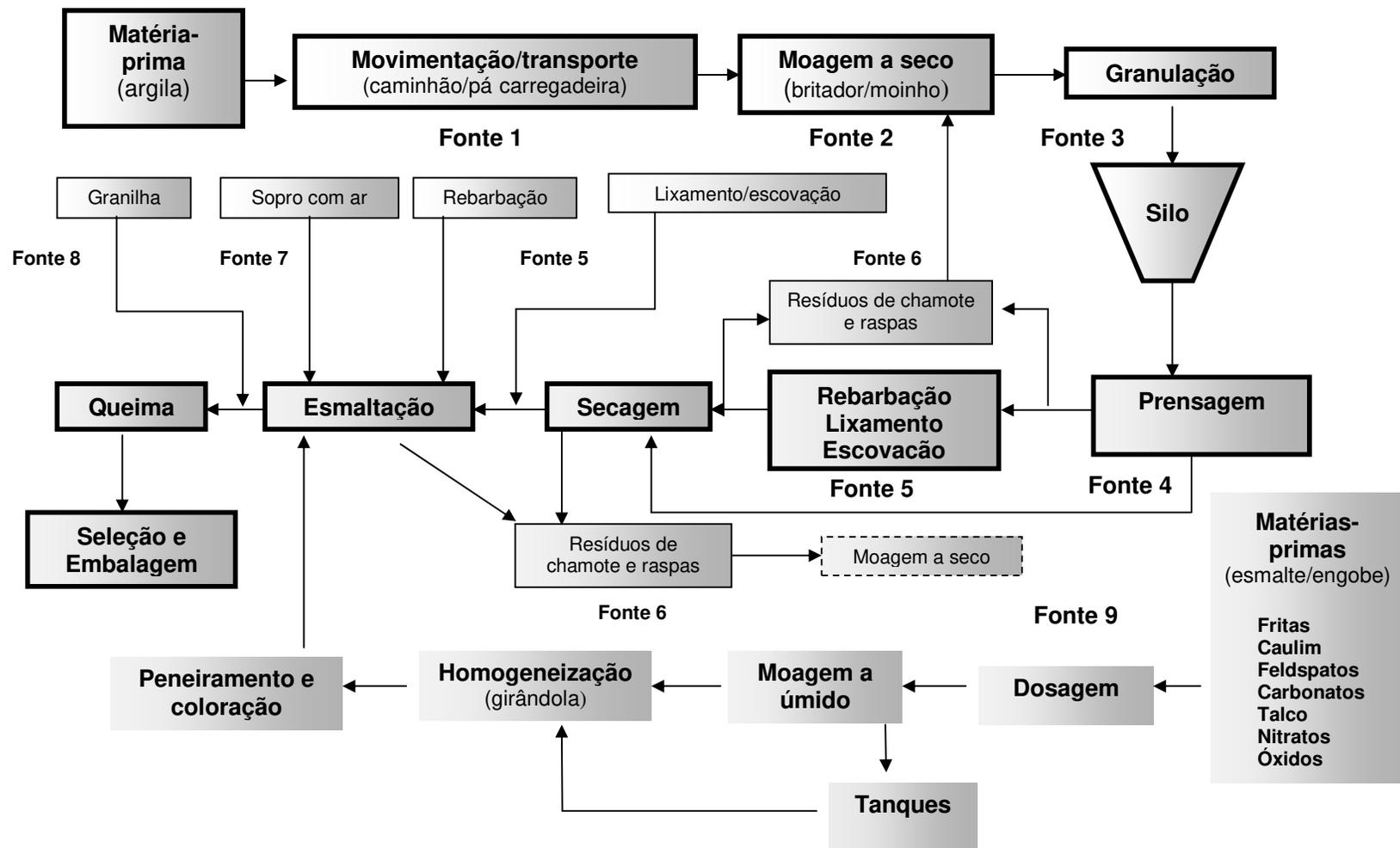


Figura 2.3 – Fluxograma do processo de fabricação por via seca de revestimentos cerâmicos esmaltados e suas fontes de geração de poeira

As principais fontes de geração de poeira estão assinaladas como fonte 1, 2, 3 e 4. As operações de eliminação das rebarbas (“rebarbação”), lixamento e limpeza das superfícies com escova, indicadas como fonte 5, e que podem existir após a etapa de prensagem, após a secagem e ao longo da linha de esmaltação, são consideradas fontes secundárias. Dependendo das ferramentas e da forma como são empregadas e, ainda, de como são coletados e destinados os resíduos dessas operações, podem se transformar em fontes importantes de poeira respirável.

Outras fontes secundárias de formação da poeira são os resíduos de produção (raspas) e as placas de revestimento cerâmico quebradas (chamote) (fonte 6) e o sopro de ar sobre as placas cerâmicas (fonte 7), que se observam no decorrer do processo. O sopro se realiza antes das etapas de aplicação do engobe e do esmalte, com a finalidade de remover partículas desagregadas de argila das superfícies das placas de revestimento.

A aplicação da granilha (fonte 8), ao final da linha de esmaltação, se torna uma fonte de poeira secundária por ocorrer acompanhada do sopro de ar que dispersa o material vítreo.

A preparação dos esmaltes e engobes, por meio da dosagem dos seus componentes na alimentação dos moinhos (fonte 9), é a fonte principal de poeira na etapa do processo de esmaltação. Nessa etapa, que sucede a prensagem e a secagem, e que não apresenta diferenças significativas entre os diferentes processos de fabricação dos revestimentos cerâmicos, surgem fontes secundárias de geração de poeira, principalmente durante a fase de preparação dos esmaltes e engobe para sua utilização na linha de produção. A composição e as características da poeira gerada dependem da formulação destes, que varia em função da técnica de queima a ser empregada e dos efeitos superficiais e de resistência à abrasão que se deseja obter no revestimento cerâmico. Segundo a CETESB (2006), a poeira da linha de esmaltação e da preparação dos esmaltes e engobe se caracteriza pela presença de sílica, boro, zircônio, sódio, chumbo, lítio, potássio, bário, cálcio, magnésio, zinco e alumínio. Nessa etapa, a poeira resultante apresentará composição qualitativa próxima à do esmalte e à do engobe formulados.

Condições de armazenamento, transporte, manuseio e processamento das matérias-primas, bem como dos produtos acabados e dos resíduos dos processos, podem gerar, também, a dispersão da poeira para o meio ambiente interno e externo.

3 SÍLICA CRISTALINA E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Os dois elementos químicos mais abundantes na capa terrestre são o oxigênio (46,6% em peso) e o silício (27,7% em peso). A afinidade do silício pelo oxigênio, juntamente com suas variadas possibilidades de ligação, resulta em diferentes graus de polimerização, o que define inúmeras estruturas cristalinas nas quais cátions de diferentes espécies, tamanhos e cargas elétricas podem se fixar. As diversas formas de acomodação desses cátions na estrutura cristalina básica, resultante da combinação do silício com o oxigênio, originam os diferentes minerais de sílica que formam a crosta terrestre (LANGER, 1986). A sílica pode se encontrar na forma livre, cristalina ou amorfa, como SiO_2 , ou combinada em diferentes arranjos cristalográficos com outros íons presentes na crosta terrestre, como o alumínio, o magnésio, o ferro, o cálcio, o sódio e o potássio, formando os diferentes grupos de silicatos (GAMBLE, 1986).

Os minerais de sílica livre cristalina incluem o quartzo, a cristobalita, a tridimita, a coesita, a stishovita e vários outros. São classificados como tectossilicatos com estruturas cristalinas formadas por tetraedros de SiO_4 , com um átomo de silício em posição central e quatro átomos de oxigênio nas pontas do tetraedro. Nessas estruturas todos os átomos de O^{2-} dos tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$ estão ligados por compartilhamento com outros tetraedros adjacentes, ou seja, no esqueleto tridimensional formado, cada um dos silícios tem quatro oxigênios e cada oxigênio tem dois silícios como vizinhos mais próximos (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1992). Quando os tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$ se combinam com outras estruturas cristalinas semelhantes formam moléculas maiores com anéis hexagonais em forma helicoidal, cuja fórmula média é SiO_2 . O quartzo é a forma mais comum dos minerais de sílica, apresentando-se majoritariamente na natureza (aproximadamente 12% em volume). É composto quimicamente por quase 100% de SiO_2 , sendo que as pequenas quantidades de outros óxidos que se apresentam devem-se

geralmente a pequenas inclusões de outros minerais ou a líquidos que preenchem cavidades no interior do quartzo (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1992). O emprego dos termos sílica, sílica livre ou sílica cristalina para o quartzo são menos específicos, mas são amplamente utilizados na literatura (ACGIH, 2006b). Os outros minerais mais comuns da sílica cristalina, cristobalita e tridimita, ocorrem principalmente associados às rochas vulcânicas ricas em sílica. A sílica pode se encontrar, também, como amorfa (não cristalina), mas processos de aquecimento podem modificar sua estrutura para formas cristalinas (LANGER, 1986).

3.1 Polimorfos da sílica

As formas cristalinas naturais da sílica são as definidas como: α -quartzo, β -quartzo, α -tridimita, β_1 -tridimita, β_2 -tridimita, α -cristobalita, β -cristobalita, coesita, stishovita e moganita (IARC, 1997), dependendo da orientação e da posição do tetraedro, ou seja, da unidade básica tridimensional de todas as formas da sílica cristalina. Esses polimorfos (minerais com mesma composição química, mas diferentes estruturas cristalinas) são estáveis em diferentes condições de temperatura e pressão. O quartzo, assim como a cristobalita e a tridimita, apresenta uma modificação (polimorfo) de baixa temperatura, designada por alfa (α), e de alta temperatura, designada por beta (β) (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1992). O α -quartzo é a forma cristalina da sílica a partir da qual se originam os demais polimorfos, sendo a sua estrutura cristalográfica baseada em uma rede hexagonal com eixos de simetria trigonal. O quartzo na forma de β -quartzo tem simetria hexagonal. A cristobalita como β -cristobalita apresenta estrutura cristalina cúbica e, como α -cristobalita, estrutura tetragonal, mas que se encontra estreitamente relacionada com a estrutura da β -cristobalita. A tridimita, na forma de β -tridimita, apresenta estrutura hexagonal e na forma de α -tridimita estrutura ortorrômbica (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1992).

O α -quartzo (*low quartz*) é a forma mais abundante de SiO_2 que ocorre na crosta terrestre porque é termodinamicamente a mais estável em condições normais de temperatura e pressão e sob as condições em que as rochas são formadas. Em temperaturas acima de 573 °C, a estrutura transforma-se em β -quartzo (*high quartz*), que é estável até 870 °C, podendo existir em

forma metaestável acima dessa temperatura. O α -quartzo também ocorre na forma de trípoli, designação dada à ocorrência natural da forma microcristalina do quartzo, apresentando partículas com dimensões menores que 0,1 μm até 7 μm (ACGIH[®], 2006b).

A tridimita e a cristobalita são polimorfos de SiO_2 de alta temperatura, sendo estáveis em faixas variando de 870 °C a 1470 °C para a tridimita e de 1470 °C a 1728 °C para a cristobalita. Apresentam estrutura cristalina mais aberta do que o quartzo. A cristobalita e a tridimita ocorrem naturalmente na forma mineral da opala e a cristobalita em depósitos de terra de diatomácea que foram submetidos a altas pressões e temperatura (ACGIH[®], 2006b). Podem se formar quando a sílica amorfa ou o quartzo são aquecidos em altas temperaturas, como na calcinação de terra de diatomácea, na fabricação de tijolos refratários e de cerâmicas, em processos de fundição ou na produção de carvão de silício (LIDE; FREDERIKSE, 1996).

A coesita e a stishovita são os polimorfos mais densos de SiO_2 , ocorrendo em ambientes de alta pressão, como no manto da terra, ou associados a impactos de meteoritos (IARC, 1997). A stishovita, em particular, ocorre na cratera *Meteor*, no Arizona, Estados Unidos (DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1992). A moganita é um polimorfo com estrutura criptocristalina, com um grande número de cristais de quartzo, encontrada na cidade de Mógan, na ilha vulcânica Gran Canária, no arquipélago espanhol das Canárias (DUNN, 1985).

3.2 Parâmetros de caracterização da poeira de sílica cristalina

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), “poeiras são partículas sólidas, variando em tamanho de 1 μm até 100 μm , no mínimo, que podem estar ou tornar-se dispersas no ar, dependendo da sua origem, características físicas e condições ambientais” (WHO, 1999, cap. 1, p.2.).

As características das partículas suspensas no ar dos ambientes de trabalho, delimitadas à avaliação dos efeitos à saúde, são de maneira simplificada associadas ao seu tamanho, forma e estrutura cristalina e à presença de um determinado elemento ou composto

químico na poeira. Uma completa descrição das características da poeira deveria incluir a determinação da sua composição química, uma análise da morfologia e do tamanho de cada partícula e a relativa quantidade de cada tipo de partícula em função de seus tamanhos (FRIEDLANDER, 1970). Deve-se considerar, no entanto, que o estudo de todas essas características se torna bastante complexo, uma vez que as características físico-químicas das partículas são medidas separadamente, com metodologias bem distintas (EPA, 2004).

Para se definir quais seriam as informações sobre as características da poeira de sílica de maior interesse neste estudo, foi fundamental uma revisão sobre os fatores que contribuem para os seus efeitos sobre a saúde, dado que as propriedades toxicológicas do quartzo não se determinam isoladamente, conforme apresentado na seção 4.

Evidências, a partir de estudos epidemiológicos e de inalação em animais, sugerem que a ação do quartzo no organismo pode ser modificada pela sua origem e por fatores externos, assim como pela presença nas partículas de íons metálicos, incluindo o ferro, que podem aumentar a citotoxicidade do quartzo, e de compostos metálicos, como os óxidos de ferro, o hidróxido de ferro [FeO(OH)] e o hidróxido ou íons de alumínio, que podem reduzir a resposta biológica do quartzo no organismo (REICHEL; BAUER; BRUCKMANN, 1975; LEBOUFFANT et al., 1982; CASTRANOVA et al., 1997; DONALDSON; BORM, 1998; FUBINI, 1998). Por essas evidências, a avaliação da poeira com sílica cristalina deve ser associada ao conhecimento sobre as suas fontes de geração e sobre a composição dos materiais sólidos que a originam para que se possa efetuar uma melhor caracterização e discussão sobre os riscos e os efeitos sobre a saúde causados pela exposição à sílica livre cristalizada em determinados processos industriais. Love et al (1999), em estudo sobre o risco de doenças respiratórias na indústria da argila, envolvendo a fabricação de revestimentos (*tiles*), de tijolos e de tubos, corroborado pelo estudo de Miller e Soutar (2004), evidenciaram que o risco de silicose decorrente da exposição ao quartzo nestes processos pode ser baixo, possivelmente pela presença na poeira de argilominerais como a illita, a caulinita e a esmectita que podem reduzir a fibrogenicidade do quartzo.

Em geral, em higiene ocupacional, à parte dos aspectos toxicológicos, os parâmetros que têm sido usados para dimensionar e descrever as poeiras presentes nos ambientes de

trabalho, considerando aqueles descritos por Hearl (1998), estão mais relacionados à concentração em massa das partículas, à concentração em massa de uma das espécies químicas constituintes da poeira, à porcentagem de determinado elemento químico ou de determinado tamanho de partícula (partículas respiráveis, por exemplo) e à estrutura cristalina das partículas.

Outras propriedades das partículas como forma, higroscopicidade e densidade das mesmas, junto com a distribuição das partículas com relação ao seu tamanho, se tornam importantes por determinar o comportamento aerodinâmico das partículas quando suspensas no ar (LIPPMANN, 1986). Essas características do material particulado podem variar consideravelmente em função das diferentes fontes de geração de poeira e devem ser conhecidas, principalmente, na análise da eficiência de medidas de controle da poeira.

Dentre todos esses fatores, para a avaliação do material particulado suspenso no ar em ambientes de trabalho, o tamanho das partículas, além de ser um parâmetro físico importante na determinação de seu comportamento, é considerado o fator primário para determinar o risco à saúde apresentado pelas poeiras, uma vez que a ele estão relacionados a penetração e os mecanismos de retenção das partículas no sistema respiratório. Com relação à poeira contendo sílica, em particular, outros fatores físicos, como a estrutura cristalina e as propriedades da superfície das partículas, se consideram tão importantes quanto a definição do tamanho das partículas, na caracterização de seus efeitos.

Na avaliação dos aspectos de tamanho e forma das partículas da poeira, deve-se considerar que, em geral, as partículas não são esféricas, e por isso não são caracterizadas pelo seu diâmetro geométrico. Seus diâmetros são freqüentemente descritos por um diâmetro “equivalente” ou diâmetro aerodinâmico. O diâmetro aerodinâmico é o que melhor explica o comportamento das partículas em suspensão, e é importante para o transporte, a coleta e a deposição das partículas no trato respiratório, sendo dependente da densidade de cada partícula. Partículas com o mesmo tamanho e forma, mas com diferentes densidades, terão diferentes diâmetros aerodinâmicos (EPA, 2004).

Em saúde ambiental e ocupacional, quando se refere ao tamanho das partículas, tem se utilizado o termo diâmetro aerodinâmico conforme definição adotada pela Organização Mundial

da Saúde - OMS (*World Health Organization* – WHO):

O diâmetro aerodinâmico é o diâmetro de uma partícula esférica hipotética de densidade 1g/cm^3 , que tem a mesma velocidade terminal de sedimentação no ar parado que a partícula em questão, qualquer que seja seu tamanho, forma e densidade verdadeira (WHO, 1999, cap. 1-2).

Em função do diâmetro aerodinâmico e da capacidade de penetração das partículas nas vias respiratórias, se propôs um protocolo internacional para harmonização das definições das três frações de tamanho para caracterizar o material particulado disperso no ar em ambientes de trabalho: frações inalável, torácica e respirável (SODERHOLM, 1989). Esse protocolo foi adotado no final de 1993 e é conhecido por *ACGIH®/ISO/CEN convention* ou *Soderholm convention*. Nele se incluíram, de forma unificada, os critérios de definição de tamanhos de partícula que vinham sendo utilizados pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH®* (ACGIH®, 1993), pela *International Organization for Standardization - ISO* (ISO, 1995) e pelo *Comité Européen de Normalisation - CEN* (CEN, 1993).

As três frações de tamanho em que são classificadas as partículas estão relacionadas aos efeitos da poeira sobre a saúde em relação à região de deposição no trato respiratório, e são definidas em termos da sua penetração nos diferentes níveis do sistema respiratório. A fração inalável (partículas $< 100\ \mu\text{m}$) consiste nas partículas que ingressam no trato respiratório, pelas vias aéreas superiores. A fração torácica (partículas $< 25\ \mu\text{m}$) inclui partículas que passam pela laringe e alcançam as vias aéreas intra-torácicas e a região de troca gasosa. A fração respirável (partículas $< 10\ \mu\text{m}$) consiste nas partículas da fração torácica que penetram além dos bronquíolos terminais e se depositam nos alvéolos, região da troca de gases dos pulmões (EPA, 2004; FUNDACENTRO, 2007).

Para cada uma dessas frações, se estabelece a concentração de massa do material particulado a ser observada como limite de exposição para a distribuição dos diferentes tamanhos de partículas presentes (ACGIH®, 2005).

Segundo a Norma Européia EN-481 (CEN, 1993), as frações são assim definidas:

- fração inalável (a massa da fração de partículas que pode ser inalada pelo nariz ou pela boca); como não há dados experimentais sobre a fração inalável de partículas com um diâmetro aerodinâmico $> 100 \mu\text{m}$, partículas $> 100 \mu\text{m}$ não são incluídas na convenção inalável;
- fração torácica (a massa da fração de partículas que passa pela laringe); o valor médio de tamanho de partícula é $11,64 \mu\text{m}$ com um desvio padrão geométrico de $1,5 \mu\text{m}$. Tem sido demonstrado que 50% das partículas no ar com um diâmetro aerodinâmico de $10 \mu\text{m}$ pertencem à fração torácica;
- fração respirável (a massa da fração de partículas que se deposita nos alvéolos); o valor médio de tamanho de partícula é $4,25 \mu\text{m}$ com um desvio padrão geométrico de $1,5 \mu\text{m}$. Tem sido demonstrado que 50% das partículas com um diâmetro aerodinâmico de $4 \mu\text{m}$ pertencem à fração respirável.

Desde o seu estabelecimento por diferentes organizações internacionais, os critérios para amostragem da poeira segundo as frações de tamanho de partículas têm sido formalmente recomendados e adotados por vários países. Uma maior atenção a esses critérios tem ocorrido, em especial, após terem sido harmonizados pela convenção Soderholm ou convenção ACGIH®/ISO/CEN, como é mais conhecida.

No entanto, segundo Kenny (2000), a prática na coleta das diferentes frações de tamanhos para avaliação do material particulado suspenso no ar, de acordo com a classificação das partículas em inaláveis, torácicas e respiráveis, varia entre os diferentes países.

No caso do Brasil, os critérios técnicos e legais para avaliação da exposição ocupacional às diferentes frações de poeira ainda são limitados. Na Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15), editada pela Portaria nº 3214, de 8 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho (MTb) (BRASIL, 1978), em seu anexo nº 12 - “Limites de Tolerância para Poeiras Minerais”, são estabelecidos critérios de amostragem apenas para a poeira total e para a poeira respirável de sílica livre cristalizada, como quartzo, e para a poeira respirável de asbesto. Na indicação do limite de tolerância para o asbesto, a fração respirável é definida de forma diferenciada do critério ACGIH®/ISO/CEN, pela característica fibrosa das partículas que se desprendem desse mineral. A Norma de Higiene Ocupacional - NHO-08 “Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho” somente agora veio definir as três frações de tamanho para a coleta de material particulado sólido (FUNDACENTRO, 2007).

O critério da fração respirável, de acordo com a convenção ACGIH®/ISO/CEN, tem

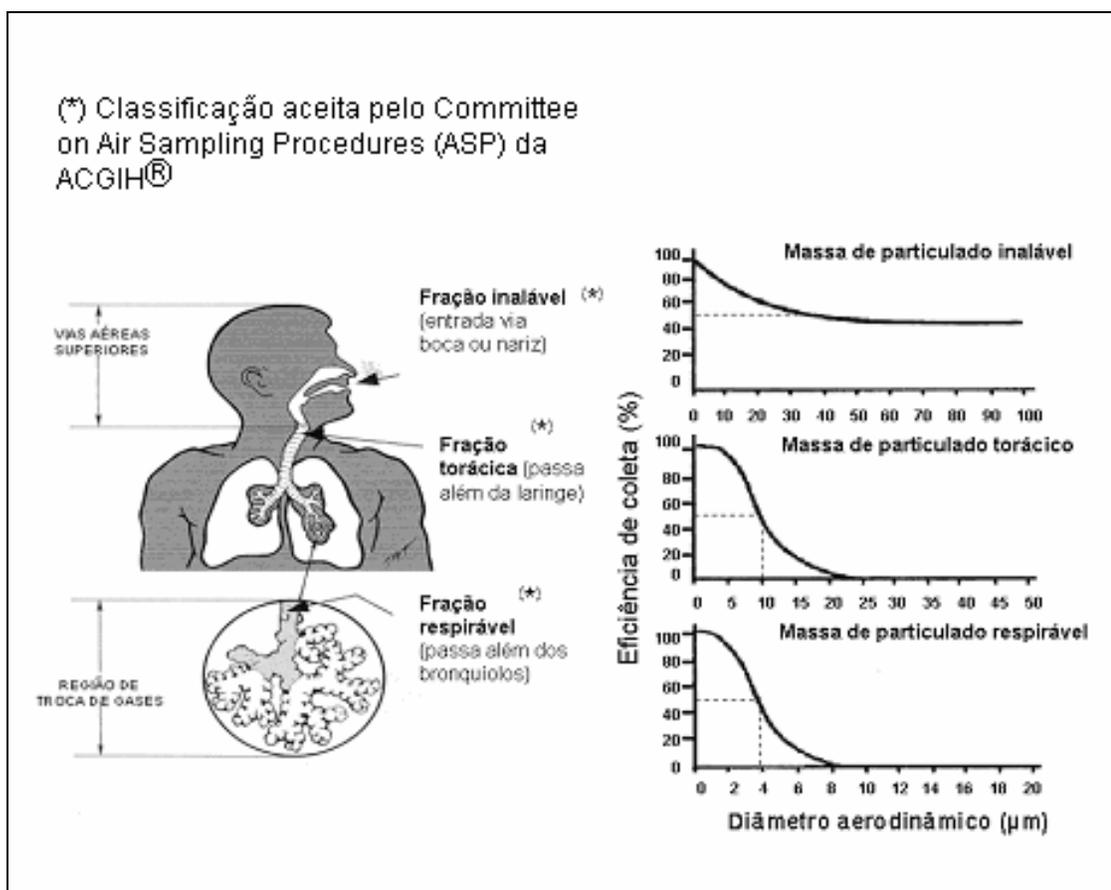
vido indicado pela ACGIH[®] para a coleta de poeiras contendo sílica e de outras poeiras definidas como tendo efeitos adversos sobre os pulmões, como, por exemplo, a poeira de caulim, de talco, de óxido de ferro, de grafite, de micas e de carvão. Para algumas outras substâncias químicas e para partículas insolúveis ou de baixa solubilidade em água (PNOS), não especificadas de outra forma e com limite de exposição ocupacional não estabelecido, a ACGIH[®] indica a fração inalável e também a fração respirável como parâmetros de avaliação. No caso das PNOS, a ACGIH[®] recomenda valores guias para controle da poeira de 10 mg/m³ para a fração inalável e de 3 mg/m³ para a fração respirável (ACGIH[®], 2006a). O critério da fração torácica tem sido utilizado mais para avaliação de exposições não ocupacionais, no macro ambiente.

Considerando que, na poeira de um ambiente de trabalho, podem ocorrer simultaneamente as três frações de tamanho das partículas, sendo as frações torácica e respirável sub-frações da fração inalável, a característica de determinada poeira vai depender do quanto se encontra em massa de cada fração. Dessa forma, a determinação de cada fração é necessária quando houver diferentes efeitos das partículas presentes na poeira em função de diferentes regiões de deposição no trato respiratório.

A figura 3.1 ilustra as definições de fração de tamanho de partículas, de acordo com a classificação aceita pelo *Committee on Air Sampling Procedures* (ASP) da ACGIH[®] (PHALEN, 1985).

3.3 Métodos de coleta e análise da poeira com sílica cristalina

A metodologia de avaliação dos ambientes de trabalho para determinar as concentrações de poeira de sílica cristalina compreende a obtenção de amostras do ar por meio de filtração e sua posterior análise por métodos de laboratório. São utilizados filtros de membrana para a retenção da poeira, apropriados às técnicas que são empregadas para análise.



FONTE: Phalen, R. F., 1985

Figura 3.1 - Classificação das frações de tamanho de partículas, segundo regiões de deposição no trato respiratório, efeitos sobre a saúde e eficiência de coleta

Os procedimentos de coleta e os métodos de análise recomendados para a poeira de sílica cristalina se encontram descritos em várias publicações de instituições internacionais: MDHS 101 (HSE, 2005); MDHS 14/3 (HSE, 2000); NIOSH 7500 (NIOSH, 2003a), NIOSH 7602 (NIOSH, 2003b), MTA/MA-036/A00 (INSHT, 2000); MTA/MA-057/A04 (INSHT, 2004); MTA/MA-014/A88 (INSHT, 1988).

Nessas referências, assim como nas publicadas no Brasil (TEIXEIRA et al., 1985; SANTOS, 1989; ABNT, 1991; FUNDACENTRO, 2001, 2007), se apresentam metodologias similares, com algumas diferenças em função dos equipamentos e das técnicas laboratoriais empregadas.

Os filtros podem ser acondicionados em dispositivos de coleta com diferentes

características, conforme a norma utilizada como referência. Esses filtros são submetidos à análise gravimétrica, antes e após a coleta das amostras, para determinação da massa de poeira (INSHT, 1988; NIOSH, 1994; HSE, 2000; FUNDACENTRO, 2001).

A massa e a composição química da poeira na fração respirável são determinadas por meio de amostras do material particulado disperso no ar coletadas com separadores de partículas (ciclones, elutriadores e impactadores virtuais).

Posteriormente à determinação gravimétrica, as amostras da fração respirável da poeira são preparadas para identificação da sílica cristalina e a determinação da sua massa. As principais técnicas recomendadas por instituições da área de segurança e saúde no trabalho para análise da sílica cristalina são a difratometria ou difração de raios-X (DRX) (SANTOS, 1989; INSHT, 2000; NIOSH, 2003a; HSE, 2005) e a espectrometria no infravermelho (NIOSH, 2003b; INSHT, 2004; HSE, 2005).

Na DRX e no infravermelho é necessária a utilização de padrões analíticos adequados aos compostos e à fração da poeira que se pretende analisar, para que se possam obter resultados confiáveis e comparáveis aos limites de exposição ocupacional. Nesses padrões, a pureza dos minerais pesquisados e o tamanho das partículas são conhecidos. A utilização dos padrões para preparar as curvas de calibração de ambos os métodos é necessária, uma vez que os resultados destes são dependentes do tamanho das partículas na poeira, mas com respostas opostas (BHASKAR; LI; XU, 1994). Na difração de raios-X, a intensidade de difração pode variar consideravelmente com o tamanho da partícula, apresentando baixas intensidades com partículas pequenas. Na espectrometria no infravermelho, com a diminuição do diâmetro da partícula, até em torno de 1,5 μm , a resposta de absorção no infravermelho aumenta. Com partículas com diâmetros abaixo de 1,5 μm , a resposta de ambas as técnicas analíticas é modificada devido à presença de uma camada superficial amorfa nessas partículas (HSE, 2005). Por essa razão, a distribuição do tamanho de partículas dos padrões de calibração deve atender rigorosamente ao tamanho das partículas que se quer avaliar (NIOSH, 2002).

A utilização de uma ou de outra técnica para a análise da poeira contendo sílica cristalina é determinada, em especial, pelo custo dos métodos analíticos, pela especificidade da

técnica analítica e pela presença de determinados compostos na poeira que podem interferir nos resultados.

A maior vantagem da DRX perante outras técnicas é que ela é capaz de distinguir entre as três formas principais dos polimorfos da sílica cristalina (quartzo, cristobalita e tridimita). Dessa forma, simultaneamente, é possível analisar cada polimorfo com correções para interferentes que podem estar na amostra (MADSEN; ROSE; CEE, 1995). A análise por infravermelho é menos específica que a DRX e não pode distinguir diretamente os polimorfos da sílica. A maior vantagem da espectrometria no infravermelho com relação à DRX, no entanto, é o custo inferior das análises (MADSEN; ROSE; CEE, 1995; NIOSH, 2002).

Os principais métodos para a análise da sílica cristalina têm sido comparados, em especial, quanto aos seus resultados na presença de interferentes e quanto aos procedimentos de análise pelo método direto ou indireto. No método direto, as análises são realizadas sobre os próprios filtros de coleta e, no método indireto, ocorre um pré-tratamento do filtro de coleta para posterior análise. Os resultados desses estudos estão apresentados em diferentes publicações (ANDERSON, 1983; PICKARD; WALKER; WEST, 1985; ADDISON, 1991; STACEY et al., 2003; KAUFFER et al., 2005).

Em um dos primeiros estudos conhecidos, solicitado ao instituto de pesquisas *SRI International* pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH (SRI, 1983 apud KAUFFER, 2005) e publicado por Anderson (1983), foram avaliados os resultados obtidos por DRX e por infravermelho na identificação da sílica cristalina no conjunto de amostras de um programa de controle de qualidade interlaboratorial, com a introdução de amostras de poeira com a presença de interferentes do α -quartzo. Os resultados apontaram o mesmo percentual de erro, com contribuição quase igual dos erros intra e interlaboratoriais, em ambas as técnicas.

Pickard, Walker e West (1985), em seu trabalho de comparação, concluíram que ambas as técnicas analíticas eram capazes de determinar com adequada exatidão e precisão, para as finalidades da higiene ocupacional, as concentrações de quartzo próximas ou abaixo do limite de exposição ocupacional definido à época para a poeira respirável contendo quartzo ($0,1 \text{ mg/m}^3$). No entanto, os autores apontam que a DRX é mais flexível em termos de sua

habilidade para identificar e introduzir correções na presença de fases interferentes. Nesse estudo, Pickard e colaboradores verificaram que, em amostras de poeira provenientes de processos de cerâmicas e de fabricação de tijolos e telhas, houve resultados discrepantes entre as duas técnicas, e apontaram a necessidade de estudos futuros.

Addison (1991) concluiu que ambas as técnicas podem ser usadas na determinação da sílica cristalina em amostras provenientes de minas de carvão, mas a DRX é provavelmente menos sensível a possíveis interferentes e ao tamanho das partículas.

Stacey et al. (2003) demonstraram que não há diferenças significativas entre a média de resultados obtidos por diferentes laboratórios participantes do programa interlaboratorial *Workplace Analysis Scheme for Proficiency (WASP)*, da Inglaterra, usando métodos diretos de análise por infravermelho e por DRX nas amostras padrão utilizadas na verificação dos resultados dos diferentes laboratórios participantes. No entanto, nesse trabalho, com a utilização de métodos indiretos de análise e com a introdução de amostras reais da poeira de ambientes de trabalho, com fases interferentes do quartzo, os resultados diferem entre os métodos analíticos.

Kauffer et al. (2005) compararam entre si os métodos diretos de análise do α -quartzo por DRX e por espectrometria no infravermelho e ambos com o método indireto de análise por infravermelho, encontrando diferenças nos resultados atribuídas às condições de coleta das amostras, à presença de calcita em algumas amostras e à diminuição dos componentes das amostras pelo processo de calcinação dos filtros, na sua preparação para análise pelo método indireto.

Neste projeto de pesquisa, a técnica analítica por difração de raios-X foi considerada mais apropriada para a realização da análise da sílica cristalina presente na poeira dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos, com base nos estudos comparativos referenciados e conhecendo-se os interferentes analíticos na determinação do α -quartzo na poeira (ferro, caulinita, calcita, montmorillonita, feldspatos e micas), presentes na composição da argila da Formação Corumbataí, segundo Zanardo (2003).

3.3.1 Coleta das amostras de material particulado

Para a coleta do material particulado suspenso nos ambientes de trabalho, são utilizados bombas e dispositivos de coleta segundo critérios de amostragem normatizados. A bomba de amostragem do ar deve apresentar fluxo constante e necessita ser previamente calibrada para que se possa conhecer o volume de ar coletado, que é obtido em função do tempo de coleta e da vazão do ar aspirado pela bomba (ABNT, 1988; FUNDACENTRO, 2002).

Para evitar erros e variabilidades na medida, o dispositivo para coleta das amostras da poeira de sílica cristalina deve atender aos valores de eficiência de coleta em massa para a fração respirável, conforme definido pelo critério ACGIH[®]/ISO/CEN (NIOSH, 2002). Deve ser atendido, também, o critério de separação das partículas respiráveis estabelecido pela NR 15 da Portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho (BRASIL, 1978).

Por convenção, a fração respirável inclui partículas com diâmetro aerodinâmico menor do que, aproximadamente, 10 μm , tendo uma eficiência de coleta de 50% para partículas com um diâmetro aerodinâmico em torno de 4 μm (NIOSH, 2002). As características de seleção de tamanhos da fração respirável, segundo a convenção ACGIH[®]/ISO/CEN, são apresentadas no Quadro 3.1.

O critério legal brasileiro apenas difere do critério internacional harmonizado de seleção de tamanho de partículas respiráveis no tamanho de corte da amostragem com eficiência de 50%. Enquanto a ACGIH[®] adota 4,0 μm (ACGIH[®], 1993), a legislação brasileira estabelece o corte da amostragem com 50% de eficiência em 3,5 μm (BRASIL, 1978). As características de seleção das partículas respiráveis, conforme estabelecidas pelo critério legal, são apresentadas no Quadro 3.2.

QUADRO 3.1 - EFICIÊNCIA DE COLETA REPRESENTATIVA NA FRAÇÃO DE PARTICULADO RESPIRÁVEL (CONVENÇÃO ACGIH®/ISO/CEN)

Diâmetro aerodinâmico da partícula (μm)	Massa de particulado respirável (MPR) Fração coletada (%)
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	9
8	5
10	1

FONTE: ACGIH®, 2006

QUADRO 3.2 - DIÂMETRO AERODINÂMICO DA PARTÍCULA E PORCENTAGEM DE PASSAGEM PELO SELETOR

Diâmetro aerodinâmico (μm) (esfera de densidade unitária)	% de passagem pelo seletor
Menor ou igual a 2	90
2,5	75
3,5	50
5,0	25
10,0	0 (zero)

FONTE: NR-15, 1978

Para atender às exigências de separação de tamanhos de partículas na fração respirável, de acordo com os critérios citados, utilizam-se separadores de partículas, como o ciclone de nylon Dorr-Oliver de 10 mm, que, quando acoplado ao dispositivo de coleta, separa as partículas respiráveis do total de material particulado disperso no ar, ou seja, a fração de material particulado constituída por partículas de diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm .

O separador de partículas é inserido no dispositivo de coleta de forma que o ar passe por seu interior antes de passar pelo filtro de membrana. Para cada modelo disponível há uma vazão de ar estabelecida empiricamente para que se processe o movimento centrífugo do ar no seu interior e se estabeleça a separação requerida, fazendo com que somente as partículas de interesse para a análise da sílica cristalina fiquem retidas no filtro de membrana. Para o ciclone de nylon Dorr-Oliver de 10 mm, o fluxo de ar indicado é de 1,7 L/min (BARTLEY et al., 1994).

Para fins de comparação dos resultados com limites de exposição ocupacional média ponderada, as estratégias de coleta das amostras de poeira necessitam ser representativas da exposição dos trabalhadores ao longo de toda a jornada de trabalho. De acordo com Leidel (1977), e conforme procedimento da FUNDACENTRO (2007), os períodos de coleta, com uma amostra única ou com várias amostras, devem corresponder a, pelo menos, 70% da jornada diária de trabalho e serem representativos da exposição durante a jornada semanal de trabalho.

3.3.2 Análise gravimétrica

O procedimento analítico para determinar a concentração da poeira e os teores de sílica cristalina no material particulado suspenso no ar se inicia com a determinação da massa dos filtros de membrana a serem utilizados para a coleta das amostras (filtros virgens), em ambiente com temperatura e com umidade controladas. Utiliza uma balança analítica, com sensibilidade mínima de 0,01 mg, para obter as massas unitárias de cada filtro. Posteriormente, após a coleta das amostras do ar e um período de estabilização em câmara apropriada, os filtros amostrados com a poeira são novamente pesados na mesma balança e nas mesmas condições de temperatura e de umidade do laboratório em que foram pré-pesados. Por diferença, entre a massa do filtro

com a amostra e a massa do filtro virgem, se determina a massa da poeira em miligramas (mg) (FUNDACENTRO, 2001).

3.3.3 Difração de raios-X (DRX)

A identificação de compostos cristalinos por difração de raios-X (DRX) está baseada no fato de que o padrão de difração é único para cada substância cristalina. Assim, se é encontrada uma concordância exata entre o padrão produzido pela amostra que se está querendo analisar e o de uma amostra conhecida, se pode definir a identidade quanto à composição química da amostra do material que se deseja conhecer.

Os padrões de difração, geralmente, são obtidos em instrumentos automatizados, onde a fonte de raios-X é um tubo com o filtro apropriado e uma amostra padrão, na forma de pó, substitui o monocristal. Em geral, o porta-amostra é submetido a um movimento de rotação para aumentar a aleatoriedade das orientações dos cristalitos. O padrão de difração é obtido pela varredura automática, da mesma forma que um espectro de emissão ou absorção, obtendo-se medidas de intensidade e tratamento automático de dados com a geração de gráficos (difratogramas) e relatórios.

A análise de uma amostra a partir de seu difratograma está baseada na posição das linhas, em termos do ângulo de incidência 2θ , e suas intensidades relativas. O ângulo de difração 2θ é função do espaçamento de um conjunto particular de planos cristalinos, onde a sua distância interplanar d é calculada usando-se o comprimento de onda da fonte e a medida do ângulo. A intensidade das linhas depende do número e do tipo de átomos em cada conjunto de planos.

A identificação dos cristais é empírica e é feita com base num banco de dados do International Centre for Diffraction Data – ICDD, anteriormente conhecido como Joint Committee on Powder Diffraction Standards – JCPDS, onde estão tabelados os espaçamentos d e as intensidades relativas das linhas, para cada substância cristalina padrão (ICDD, 1978). As

entradas estão organizadas em ordem de valor do espaçamento d para as três ou quatro linhas mais intensas, sendo a identificação das substâncias realizada pelo valor do espaçamento da sua linha mais intensa com relação a um intervalo de alguns centésimos de angström com relação ao espaçamento d da linha mais intensa do padrão. Normalmente, três a quatro linhas são suficientes para identificar o composto. Se a amostra contém dois ou mais compostos cristalinos, a identificação torna-se mais complicada e se necessita da análise de combinações das linhas mais intensas até se obter a concordância necessária para a identificação. A eliminação de outros compostos distintos do que se quer analisar é conseguida considerando-se a segunda linha em intensidade e, assim, sucessivamente. Atualmente, utilizam-se programas de computador para contornar a dificuldade no processo de busca.

Pela medida da intensidade das linhas de difração e sua comparação com os difratogramas de padrões feitos com quantidades conhecidas de material, torna-se possível a análise quantitativa de misturas cristalinas.

Após a confirmação da presença da sílica cristalina na amostra e a definição dos picos a serem utilizados para análise, procede-se à determinação quantitativa por meio da comparação com a curva de calibração adequada a cada caso. O limite de detecção para amostras de poeira respirável analisadas por DRX é, em geral, de 0,01 mg para o quartzo e de 0,02 mg para a cristobalita.

No método desenvolvido por Santos (1989), adotado como de referência para este estudo, cada filtro de membrana utilizado para a coleta das amostras de poeira é calcinado a 800 °C, após a análise gravimétrica, e o calcinado obtido é disperso em água destilada por meio de um banho ultrassônico. Posteriormente, se adiciona o padrão interno de calibração da análise difratométrica (suspensão 0,20 mg/ml de fluorita – CaF_2). A suspensão, então, se deposita por meio de filtração a vácuo sobre um outro filtro analítico de PVC copolímero de acrilonitrila, de 25 mm de diâmetro e 0,45 μm de poro. O filtro analítico passa por um processo natural de secagem, por, pelo menos, 24 horas, antes da sua análise por difração de raios-X.

Durante a análise por DRX, o filtro analítico é submetido inicialmente a uma análise qualitativa para se verificar a presença dos polimorfos da sílica e de outras fases que possam

causar interferência de matriz. Uma vez identificada a presença da sílica cristalina na amostra e definido o pico a ser utilizado para análise, procede-se à análise quantitativa da amostra, sendo que a massa de cada polimorfo presente se obtém pela interpolação da razão entre a intensidade do pico identificado e a intensidade do pico da fluorita, na curva de calibração de cada amostra (SANTOS, 1989).

Moreira Lima e Camarini (2006), ao abordarem os métodos para avaliação da sílica cristalina na poeira dos processos de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento, apontam a difração de raios-X como método de análise preferencial para a sua determinação, considerando as limitações da aplicação da espectrometria de infravermelho quanto às interferências que os compostos presentes em certas argilas e feldspatos podem apresentar na determinação do α -quartzo.

3.4 Limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional (LEO's) são estabelecidos em diversos países como parâmetros para a realização de controle da exposição a agentes ambientais que causam riscos à saúde dos trabalhadores. Baseiam-se, na sua grande maioria, nas recomendações propostas pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* - ACGIH[®], por meio de sua publicação anual *Threshold Limit Values* - TLVs[®].

No capítulo de introdução desses valores para substâncias químicas, o Comitê dos TLVs[®] da associação americana de higienistas ocupacionais, apresenta a seguinte definição:

Os limites de exposição (TLVs[®]) referem-se às concentrações das substâncias químicas dispersas no ar e representam condições às quais, acredita-se, que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, dia após dia, durante toda uma vida de trabalho, sem sofrer efeitos adversos à saúde (ACGIH[®], 2006a, p. 3).

Pela NR-15, da Portaria MTb nº 3214/78, se adota no Brasil a definição de limite de tolerância (LT) como sendo: “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 sua vida laboral” (BRASIL, 1978, NR-15-preâmbulo).

O valor do LT para a sílica livre cristalizada, estabelecido no Anexo nº 12: “Limites de Tolerância para Poeiras Minerais” da NR-15, é definido, em função da porcentagem de quartzo presente na poeira e do método de coleta e de análise utilizado, por meio de três fórmulas anteriormente recomendadas pela ACGIH[®].

Em 1962, a associação americana havia adotado a primeira dessas fórmulas como TLV[®] para a poeira total (respirável e não respirável) com quartzo, coletada com impactadores, sendo a determinação das concentrações de poeira no ambiente efetuada por contagem das partículas (método do *impinger*). Posteriormente, em 1968, a ACGIH[®] recomendou outras duas fórmulas, indicando uma fórmula para o cálculo do limite de exposição para o quartzo na poeira respirável, cuja concentração de poeira era medida por método gravimétrico, com seleção de tamanho de partículas, e outra fórmula para o quartzo na poeira total determinada também pelo método gravimétrico. Em 1970, o TLV[®] para a poeira contendo quartzo, pela fórmula inicial do método do *impinger*, foi revisado e acrescido da proposta das outras duas fórmulas, recomendadas em 1968, para a poeira respirável e para a poeira total. As três fórmulas para calcular o limite de exposição para a poeira contendo quartzo foram incluídas na publicação dos TLVs[®] da ACGIH[®] no ano de 1972 e permaneceram até o ano de 1985 (HEARL, 1998; ACGIH[®], 2006b). Essas fórmulas são derivadas do conceito de limite de tolerância para mistura de substâncias, com efeitos aditivos, considerando o quartzo presente em uma dispersão com outras partículas insolúveis ou pouco solúveis, classificadas, na época, apenas como incômodas (HEARL, 1998; TORLONI, 2003).

O limite de exposição ocupacional para o quartzo, estabelecido mediante o conceito de mistura, proposto pela ACGIH[®], foi adotado no Brasil por meio das mesmas fórmulas indicadas pela ACGIH[®], apenas corrigidas para a jornada de trabalho de 48 horas semanais, em vigor à época, por constar das listas de TLVs[®] para os anos de 1977 e de 1978, utilizadas como

referência para elaboração da proposta dos limites de tolerância brasileiros (SAAD; GIAMPAOLI, 2006).

No Anexo nº 12, da NR-15, estão estabelecidas três fórmulas para determinar o LT para a poeira de acordo com sua composição em sílica livre cristalizada, como quartzo. Duas delas são para calcular o LT para a poeira total e variam conforme o método de determinação da concentração da poeira (gravimetria ou contagem de partículas). Uma terceira fórmula é estabelecida para calcular o LT para a poeira respirável, cuja concentração se determina por gravimetria (BRASIL, 1978).

Para a poeira respirável, fração de tamanho de interesse neste estudo, para o cálculo do LT, pela legislação brasileira, se aplica a Equação 3.1 (BRASIL, 1978):

$$LT = \frac{8}{\% \text{ quartzo} + 2} \text{ mg / m}^3 \quad (3.1)$$

sendo:

LT = limite de tolerância

% quartzo = massa de quartzo no total de massa de poeira respirável $\times 100$

Desde o seu estabelecimento no Brasil, o critério de cálculo para o limite de tolerância para a sílica livre cristalizada permaneceu inalterado, apesar das alterações ocorridas nas recomendações da ACGIH[®], que tem os seus TLVs[®] revisados anualmente.

Nas recomendações técnicas de diversas instituições internacionais, e em normas legais de vários países, verifica-se que não mais se utiliza o critério de mistura, sendo estabelecidos limites de exposição ocupacional com valores fixos para os polimorfos da sílica cristalina, nas formas do quartzo, da cristobalita e da tridimita (IMA, 2006).

A ACGIH[®] passou a recomendar, desde 2006, um TLV[®] único para a sílica cristalina nas formas do α -quartzo e da cristobalita, para as quais há a associação bem estabelecida entre a poeira desses minerais, a silicose e as concentrações de massa respirável (ACGIH[®], 2006b). Em

sua publicação para os anos de 1986-1987, a ACGIH[®] já havia eliminado as fórmulas do TLV[®] para a sílica cristalina, passando a recomendar os valores de 0,1 mg/m³ para a poeira respirável do quartzo, da sílica fundida e da trípoli e de 0,05 mg/m³ para a poeira respirável da cristobalita e da tridimita (ACGIH[®], 1985). Em 2000, o TLV[®] para o quartzo foi reduzido para 0,05 mg/m³, mantendo-se os valores para as demais formas da sílica cristalina (ACGIH[®], 2000). Esses valores permaneceram até o ano de 2006, quando se recomendou o TLV[®] de 0,025mg/m³ ^{(R)3} para a cristobalita e para o α -quartzo, incluindo a forma microcristalina do quartzo presente na ocorrência mineral da trípoli, com a indicação de que essas formas de sílica cristalina são suspeitas de causar câncer de pulmão (ACGIH[®], 2006a).

No entanto, a legislação brasileira (BRASIL, 1978) ainda considera o limite de tolerância somente para o quartzo e pelo seu percentual tanto na poeira respirável, como na poeira total. A indicação de um limite de exposição para a sílica livre cristalizada com base na sua determinação na poeira total não mais se considera adequada, em razão das regiões principais do trato respiratório aonde se apresentam os seus efeitos, ou seja, na região de troca gasosa dos pulmões e nas suas ramificações terminais (ACGIH[®], 2006b).

Na utilização dos limites da ACGIH[®] para análise do risco de exposição dos trabalhadores, em jornadas superiores às 8 horas diárias ou às 40 horas semanais, recomenda-se que o TLV[®] seja adequado à jornada de referência, de acordo com o aumento do tempo de exposição e a redução do tempo de não exposição. O modelo matemático para essa adequação, adotado pela legislação brasileira, é o proposto por Brief e Scala (1975), referenciado e indicado pela ACGIH[®] com base em Paustenbach (2000). O modelo de Brief & Scala (1975) utiliza a Equação 3.2 para derivação do fator de redução a ser aplicado sobre o valor limite de exposição.

$$FR = \frac{40}{h} \times \frac{168 - h}{128} \quad (3.2)$$

3(R) notação de respirável

onde:

FR = fator de redução

40 = jornada de trabalho de referência (horas)

168 = número de horas totais em uma semana (24 horas × 7 dias = 168)

128 = tempo de não exposição durante a semana (168 – 40 horas)

h = tempo da jornada real (horas)

A partir da aplicação do FR calculado sobre o TLV[®] da ACGIH[®], como indicado na Equação 3.3, se determina o valor do limite de exposição ocupacional (LEO) ajustado para comparação com as concentrações ambientais obtidas durante a jornada de trabalho avaliada. Esse modelo de correção não é aplicado para jornadas de trabalho menores do que 7 a 8 horas por dia ou 35 horas por semana (BRIEF; SCALA, 1975).

$$LEO = FR \times TLV^{\text{®}} \quad \text{mg} / \text{m}^3 \quad (3.3)$$

No desenvolvimento deste trabalho, para interpretação das concentrações de α -quartzo, encontradas nas empresas avaliadas, se utilizou como referência o valor do TLV[®] da ACGIH[®] de 0,05 mg/m³ para a poeira de quartzo respirável (ACGIH[®], 2005). Esse valor foi adotado por ser a recomendação publicada por diversas entidades internacionais de referência (NIOSH, 2002; ACGIH[®], 2005), no período em que se iniciou a coleta das amostras de poeira nas empresas de revestimento cerâmico, e em função das limitações dos métodos de coleta e de análise utilizados para a determinação da sílica cristalina na poeira (NIOSH, 2002).

No entanto, pelos LEO's de referência serem recomendados para jornadas de trabalho de 40 horas semanais (ACGIH[®], 2005), o valor de 0,05 mg/m³ foi corrigido, de acordo com o critério de Brief & Scala (1975), para a jornada em vigor no Brasil de 44 horas semanais. Dessa forma, foi considerado como referência o valor de 0,04 mg/m^{3(R)} para a interpretação dos resultados de concentração de poeira de α -quartzo nos ambientes de trabalho e para a verificação da necessidade de controle dessa poeira nas empresas de revestimento cerâmico do pólo de Santa Gertrudes.

4 RISCOS DA SÍLICA À SAÚDE E ESTIMATIVAS DE EXPOSIÇÃO

Os riscos à saúde decorrentes da exposição a poeiras contendo sílica (SiO_2) podem ocorrer em todos os processos industriais onde haja matérias-primas de origem mineral, uma vez que a sílica é o maior componente da crosta terrestre, aparecendo como sílica livre, mais comumente na forma cristalina do quartzo, ou como parte da estrutura dos silicatos, como sílica combinada.

O principal risco da exposição ocupacional a poeiras contendo sílica é o aparecimento de doenças no sistema respiratório dos trabalhadores. Dentre elas, as mais importantes são a silicose, originada pela exposição à sílica cristalina, não combinada, e o câncer pulmonar. Outras pneumoconioses, caracterizadas ou não por fibrose nodular ou massiva do pulmão, podem ser causadas pela sílica combinada, na forma de silicatos, mais especificamente relacionadas à exposição a poeiras de talco, de minerais do grupo do asbesto, dos feldspatos, das micas, como a muscovita, e do grupo dos argilominerais, em especial pela exposição a argilas caulínicas dos tipos *china-clay* (caulim) e *ball-clay*. No entanto, no caso do aparecimento de doenças relacionadas à exposição ocupacional à poeira dos minerais da argila, das micas e dos feldspatos, estas doenças estão fortemente associadas com a presença do quartzo como contaminante desses minerais (PARKERS, 1982; GAMBLE, 1986). O potencial fibrogênico da sílica livre, ou seja, de causar fibrose pulmonar quando inalada, é muito maior que o da sílica combinada (GAMBLE, 1986).

Neste estudo, as doenças relacionadas com as poeiras com sílica não são o seu objetivo principal, mas a razão da sua realização, uma vez que a silicose e as outras doenças associadas à exposição à sílica podem acometer os trabalhadores do setor de revestimentos cerâmicos, dependendo das características da poeira. Para melhor estabelecer a sua dimensão no setor de cerâmicas, será feita neste capítulo uma revisão de algumas estimativas de exposição ao risco de

doenças respiratórias, especialmente ao risco de silicose, com a sua casuística e prevalência entre os trabalhadores desse setor no Brasil, em particular do segmento de materiais cerâmicos para revestimento.

4.1 Silicose e doenças associadas à exposição à sílica

A silicose é um tipo de pneumoconiose conhecida há muito tempo. A definição de pneumoconiose foi adotada pela IV Conferência Internacional sobre Pneumoconioses, realizada em Bucarest, em 1971, e é entendida como sendo “o acúmulo de poeira nos pulmões e as reações tissulares provocadas pela sua presença” (David, 1998, p.10.36). Sua associação com o risco de câncer de pulmão é mais recente, estando já comprovado que a inalação de poeiras na forma do quartzo ou da cristobalita é causadora do câncer em situações experimentais e em humanos (IARC, 1997).

Dentre os polimorfos da sílica cristalina, o quartzo, por ser o mais abundante na natureza e a variação mais estável em condições normais de temperatura e pressão, é o mais importante como agente de risco do aparecimento da doença entre os trabalhadores.

A silicose é uma doença pulmonar, crônica e incurável, progressiva e irreversível, que pode determinar a incapacidade para o trabalho, invalidez, aumento da susceptibilidade à tuberculose e, freqüentemente, levar ao óbito o paciente afetado (GOELZER; HANDAR, 2001). Ocorre, geralmente, como uma fibrose pulmonar nodular difusa (NIOSH, 2002). Esta doença pulmonar, algumas vezes assintomática, depende da inalação e da deposição, na região de troca gasosa dos pulmões, de partículas de sílica cristalina respirável, ou seja, com diâmetros menores do que 10 µm (IARC, 1987; ZISKIND; JONES; WEIL, 1976).

De acordo com diversos autores (NIOSH, 2002, p. 23), para que um trabalhador venha a contrair a silicose, deve-se considerar que:

Provavelmente o fator mais importante no desenvolvimento da silicose é a "dose" de poeira contendo sílica respirável a que os trabalhadores são submetidos no local de trabalho. Isto é, o produto da concentração da poeira contendo sílica respirável no ar do local de trabalho e da porcentagem de sílica respirável na poeira total. Outros fatores importantes são o tamanho das partículas, a natureza cristalina ou não cristalina da sílica, a duração da exposição à poeira e o período de tempo entre a primeira exposição e o diagnóstico da doença (de alguns meses a mais de 30 anos).

A silicose também predispõe o organismo do trabalhador a outras doenças, como a tuberculose, o enfisema, a limitação crônica ao fluxo aéreo, as doenças auto-imunes e o câncer (ALGRANTI et al., 2003). A associação com a tuberculose é a mais comum delas, sendo considerada uma séria complicação, já que pode implicar numa rápida progressão da fibrose pulmonar causada pela sílica (BALMES, 1990 apud ALGRANTI et al., 2003).

Sobre o aparecimento do câncer pulmonar em trabalhadores expostos a poeiras contendo quartzo ou cristobalita, a *International Agency for Research on Cancer (IARC)*, da OMS, a partir de uma extensa revisão e avaliação dos estudos disponíveis, concluiu:

Fazendo uma avaliação global, o grupo de trabalho observou que a carcinogênese em humanos não foi detectada em todas as circunstâncias industriais estudadas. A carcinogênese pode ser dependente ou inerente a características da sílica cristalina ou a fatores externos afetando sua atividade biológica ou a distribuição de seus polimorfos. Sílica cristalina inalada na forma de quartzo ou cristobalita de fontes ocupacionais é carcinogênica para humanos (Grupo 1). Sílica amorfa não é classificada como sendo carcinogênica para humanos (Grupo 3). (IARC, 1997, v. 68, p. 41).

Com relação aos riscos de doenças associados à exposição à sílica cristalina, do ponto de vista toxicológico, deve-se considerar que, dependendo da origem da sílica, ou de seu contato com outros minerais e produtos químicos, os riscos apresentados pelo quartzo podem variar significativamente (DONALDSON; BORM, 1998). Segundo diversos autores (REICHEL; BAUER; BRUCKMANN, 1977; FUBINI et al., 1995; GUTHRIE JR., 1995; VALLYATHAN et al., 1995; BOLSAITIS; WALLACE, 1996; CASTRANOVA; DALAI; VALLYATHAN, 1996; CASTRANOVA et al., 1997; FUBINI, 1997; 1998; IARC, 1997), características mineralógicas inerentes da sílica cristalina, determinadas pela sua origem e

pelo estado da superfície externa da partícula (defeitos, reatividade química, entre outros), partículas cristalinas de sílica recém fraturadas e fatores externos como contaminantes, em especial a presença na superfície das partículas de traços de impurezas de metais, tais como o ferro e o alumínio, podem afetar a atividade biológica e modificar a toxicidade das partículas de quartzo.

Segundo Guthrie Jr. (1997, p 1003), “a espécie de um mineral, por fornecer informação direta sobre a sua estrutura e composição, é provavelmente um dos mais importantes fatores, ainda negligenciados, que deve ser considerado nos estudos de toxicidade e carcinogênese das partículas”.

4.2 Estimativas de exposição ao risco de silicose no Brasil

Conforme apontado por Mendes et al. (2002, p. 838), “no caso do Brasil, a silicose é a pneumoconiose de maior prevalência e, embora venha sendo observada há tantos anos, não se tem uma idéia completa de sua ocorrência, numa perspectiva epidemiológica”.

Projeções para o ano de 2000 indicavam que o número de trabalhadores potencialmente expostos a poeiras contendo sílica no Brasil seria superior a seis milhões, sendo cerca de quatro milhões na construção civil, meio milhão na mineração e garimpo, e acima de dois milhões em indústrias de transformação de minerais, metalurgia, indústria química, borracha, cerâmicas e vidros (GOELZER; HANDAR, 2001).

Em estudo mais recente, Ribeiro (2003, p. 99) aponta que “em 2001, os setores com maior frequência de exposição a poeiras contendo sílica foram o da construção civil, seguido do setor de minerais não metálicos (cerâmica, vidro e cimento).”

Nas estimativas do risco de silicose no Brasil, deve-se considerar que os dados disponíveis são indicativos da exposição à sílica em trabalhadores economicamente ativos vinculados ao mercado formal e que, por observações subjetivas, o risco de exposição pode ser bem maior entre os trabalhadores do mercado informal da economia (RIBEIRO, 2003).

Devemos considerar, no entanto, que, apesar dessa imprecisão, os dados disponíveis para o setor formal já indicam uma população de risco importante. Se forem analisados os indicadores oficiais sobre a magnitude e a gravidade da silicose nos diferentes segmentos industriais, em comparação com a população trabalhadora exposta ao risco, se verifica que o número de casos da doença não é representativo.

Como apontado anteriormente, a silicose é considerada uma das pneumoconioses de maior prevalência no Brasil, com grande ocorrência, principalmente, na região sudeste, devido ao desenvolvimento industrial apresentado, segundo indicam os estudos pioneiros realizados por Nébias e colaboradores (1940 apud MINERVINO et al., 1964), por Ferraz e outros autores (1952 apud MINERVINO et al., 1964), por Gusmão e colaboradores (1952 apud MINERVINO, 1964) e por Minervino e colegas (1964). No trabalho de Minervino, realizado no SESI de São Paulo, foram analisados 278 casos de silicose diagnosticados no período entre 1947 e 1963. As origens de alguns desses casos foram pesquisadas junto às indústrias, nos anos de 1951 e de 1952, por meio da avaliação da poeira dos ambientes de trabalho (GUSMÃO, 1952 apud MINERVINO, 1964). Esses estudos foram corroborados pelos estudos posteriores de Mendes (1979), Morrone (1980) e Bagatin (1995).

Analisando-se as estatísticas da Previdência Social (BRASIL, 2005), observa-se que ainda não há, para fins de concessão de benefícios acidentários, um número significativo de registros da “pneumoconiose devida a poeiras que contenham sílica” (código J62), dentro das doenças do aparelho respiratório, conforme a Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (CID 10). Isso se deve, no entender dos especialistas da área de saúde ocupacional, a uma sub-notificação das doenças ocupacionais, de forma geral.

Há 33 anos, Goelzer e Cox (1974, p. v) já apontavam a mesma situação que se encontra nos dias de hoje, em todos os setores produtivos, com relação ao reconhecimento das doenças ocupacionais e suas causas. Em especial, no ramo da indústria da construção, os autores constataram:

Embora no Brasil as estatísticas relativas aos acidentes de trabalho nos vários ramos de atividade sejam ainda deficientes, é sabido que a indústria da construção civil caracteriza-se por apresentar uma das mais elevadas

incidências de acidentes ocupacionais [...]. Ao se desejar, no entanto, dimensionar o problema das doenças do trabalho na construção civil, verifica-se que a tarefa não é tão fácil. O baixo número de doenças profissionais, expresso nas estatísticas oficiais, revela apenas um quadro digno de pouco crédito, onde transparecem unicamente uns poucos casos de dermatites e outras doenças óbvias. Porém a grande maioria dos males [...] permanece não diagnosticada ou registrada. Diversos são os motivos que explicam a deficiência de nossas estatísticas sobre doenças do trabalho. A comprovação e o registro destas [...] obedecem a uma sistemática mais trabalhosa e complexa. Além disso, via de regra, demoram meses ou anos para se manifestarem, freqüentemente o fazendo de maneira não evidente. A principal causa, contudo, reside inegavelmente no **pouco conhecimento sobre os milhares de agentes potencialmente causadores de doenças do trabalho** aos quais, diária e prolongadamente, ficam expostos os trabalhadores da construção civil. [grifo nosso].

4.2.1 No setor de cerâmicas

A silicose associada às atividades da cerâmica é relatada há muito tempo. Bernardino Ramazzini, pai da medicina do trabalho, no capítulo V de seu livro “*De Morbis Artificum Diatriba*”, de 1700, quando discorre sobre as doenças dos oleiros, assim conhecidos os artífices da cerâmica, já refere que “recordam as ‘Atas de Copenhague’ o caso de um oleiro em cujo cadáver acharam o pulmão aberto nas costas com tendência à dessecação e à tísica, imputa-se à arte que exercia a má constituição pulmonar” (RAMAZZINI, 2000, p. 47). Para uma melhor compreensão, transcreve-se o entendimento de Mendes (2007) sobre o registro de Ramazzini:

Apesar da discussão de Ramazzini no capítulo V ser sobre a toxicidade do chumbo utilizado na esmaltação da cerâmica, o achado pulmonar, na autópsia, é apenas concomitante e não guarda relação causal com o chumbo. Eventualmente com a sílica, sim, diretamente, ou uma de suas doenças associadas, até possivelmente o câncer de pulmão. Em seu relato dois termos lembram a tuberculose (que poderia ser “endêmica” e/ou associada à sílica, ou seja, silico-tuberculose): “aderência sobre as costelas” e “tísica”. Poderia ser câncer de pulmão, mas a descrição da autópsia lembra mais a tuberculose “pura” ou a “silico-tuberculose”. O termo “dissecado” poderia lembrar um processo de fibrose, que na versão em inglês é utilizada [...]. Todos esses quadros pulmonares ou estão associados à sílica ou são decorrentes de tuberculose pulmonar, ou são associação de ambos os processos. Parece que nada têm a ver com o chumbo da vitrificação.

Mesmo havendo um reconhecimento bem documentado, ao longo dos anos, da ocorrência de silicose no setor de cerâmicas, a base de dados DATAPREV, que registra os dados da previdência social, aponta nesse setor, no Brasil, no período de 1998 a 2003, apenas 47 casos de silicose com benefícios previdenciários, envolvendo trabalhadores na faixa de 28 a 61 anos de idade, considerando os empregados nas atividades econômicas com os códigos CNAE 23.42-7, 23.41-9 e 23.49-4, de acordo com a classificação nacional de atividades econômicas (IBGE, 2007).

Alguns estudos no estado de São Paulo, como os relativos à indústria de cerâmicas dos municípios de Jundiaí (NOGUEIRA et al., 1981) e de Pedreira (MORRONE, 1980; GANA SOTO et al., 1981; OLIVEIRA, 1998), são indicativos de que as situações de exposição a poeiras com sílica cristalina no setor são importantes. Morrone (1980) apresentou e analisou casos de silicose registrados no Serviço de Medicina Industrial do SESI (SMI) de São Paulo, no período de 1960 a 1979, e no Instituto Nacional da Assistência Médica e da Previdência (INAMPS), no período de 1975 a 1979. A maior proporção de casos registrados nesses órgãos era referente à indústria cerâmica. Ribeiro, Koga e Santos (1980) analisaram 101 casos de trabalhadores desse ramo de atividade, com suspeita de silicose ou diagnóstico clínico e radiológico confirmados, encaminhados pelo Instituto Nacional de Previdência Social (INPS) para o laboratório de função pulmonar do Hospital Central da Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. Noventa e quatro deles eram provenientes do município de Jundiaí, onde se localizava a maior parte das indústrias de cerâmicas do estado de São Paulo. Nogueira et al. (1981), a partir de um caso de silicose identificado no segmento de cerâmica sanitária, em Jundiaí, evidenciou um grave problema no setor, com o registro de 76 casos entre ceramistas da região. Posteriormente, Bagatin (1988) avaliou 139 casos em processos do INPS de Jundiaí, onde prevalece a atividade de cerâmica sanitária. Dentre esses casos, 111 eram da indústria de louça sanitária e 10 trabalhadores tinham a função de oleiro em empresas de cerâmicas vermelhas. Gana Soto e colaboradores (1981) conduziram estudo pioneiro sobre as concentrações de sílica livre cristalizada nos ambientes de trabalho das indústrias de cerâmicas da cidade de Pedreira, cuja atividade principal era a fabricação de isoladores elétricos, louça de mesa e porcelana artística, e, posteriormente, Oliveira (1998) estudou a prevalência da silicose entre os seus trabalhadores. No estudo de Oliveira (1998), um dos únicos sobre a prevalência de silicose pulmonar no setor de cerâmicas, foi demonstrado uma prevalência de 4,7% numa

população de 3.400 trabalhadores expostos à poeira, entre 4.279 trabalhadores empregados nas indústrias de louça de mesa e de porcelana de Pedreira. Em 1995, Bagatin e outros já acompanhavam a ocorrência de silicose pulmonar na região de Campinas e identificaram 818 casos, sendo a maioria (720 casos) da indústria de cerâmica branca, principalmente de Jundiaí (353 casos) e de Pedreira (316 casos) (BAGATIN et al., 1995). Esses trabalhos, em especial, despertaram a comunidade científica brasileira para o problema da silicose no setor de cerâmicas.

Mais recentemente, Lido (2004) fez um estudo sobre a casuística de pneumoconioses, no período de 1978 a 2003, no ambulatório do Hospital das Clínicas da UNICAMP, encontrando que os trabalhadores doentes atendidos eram predominantemente ceramistas fundidores de louças sanitárias e estampadores de louça doméstica, procedentes dos municípios de Jundiaí e de Pedreira, em São Paulo. Do total de trabalhadores investigados, 821 pacientes eram da indústria cerâmica, dos setores de isoladores (74 pacientes), louça doméstica (232 pacientes), louça sanitária (374 pacientes), revestimentos cerâmicos (9 pacientes do ramo de pastilhas e 38 pacientes do ramo de pisos), cerâmica vermelha (85 pacientes) e cerâmica branca não especificada (9 pacientes). Esses trabalhadores foram encaminhados pelas Direções Regionais de Saúde de vários municípios onde se observa a atividade da indústria de cerâmica, como de Campinas, que abrange 36 municípios, de Piracicaba, que engloba 25 municípios, e de São João da Boa Vista, que atende outros 25 municípios do estado de São Paulo (LIDO, 2004).

4.2.2 No setor de revestimentos cerâmicos

No setor de cerâmicas para revestimento, as informações disponíveis sobre a exposição a poeiras contendo sílica cristalina e sobre a ocorrência da silicose são limitadas. Não se encontra uma estimativa precisa do número de expostos ao risco, nem dados suficientes para caracterizar as poeiras e os níveis de exposição à sílica cristalina presente nos processos industriais.

Um estudo pioneiro sobre o risco de silicose e de outras doenças na atividade de fabricação de revestimentos cerâmicos foi realizado no estado do Rio de Janeiro por Souto e

Taveira (1958; 1960). Nesse estudo, foi efetuado um levantamento sobre as condições dos ambientes de trabalho da maior fábrica de azulejos existente no Brasil, na época, a Klabin Irmãos & Cia., que empregava 2.200 trabalhadores. Foram coletadas amostras do ar para análise de sílica cristalina, chumbo e zinco. As amostras de poeira se obtiveram com impactadores como o *Greenburg Smith Impinger* e o *Midget Impinger* e a determinação das concentrações ambientais foi efetuada por contagem das partículas. Os teores de sílica cristalina foram determinados pelo método de Talvitie na poeira sedimentada, indicando concentrações de partículas suspensas no ar elevadas para o conteúdo de quartzo presente na poeira, segundo os parâmetros de referência utilizados.

Não se conhecem estudos epidemiológicos específicos sobre a incidência da silicose e de outras doenças respiratórias e pulmonares entre os trabalhadores do setor de materiais cerâmicos para revestimento. Por essa razão, não se dispõe da taxa de prevalência da silicose e de doenças associadas entre os trabalhadores desse setor. Além dos 47 casos de pneumoconiose identificados entre trabalhadores do setor de revestimentos cerâmicos relacionados por Lido (2004), alguns casos de silicose foram relatados por De Capitani (2005), que avaliou 55 trabalhadores oriundos de empresas do pólo de Santa Gertrudes, no período entre setembro de 2000 e dezembro de 2003. Estes trabalhadores vieram de 15 empresas, sendo 27 trabalhadores de uma mineradora e beneficiadora de argila. Desses 55 trabalhadores, 15 apresentaram alterações nos exames médicos realizados, sendo 7 suspeitos e 8 com alterações radiológicas. Foi efetuado o diagnóstico de 5 casos de silicose, sendo 4 deles de uma empresa que processa a preparação de massa pronta para fornecimento a empresas da região.

Em relação às características da poeira dos processos de fabricação dos revestimentos cerâmicos com moagem da argila vermelha a seco, o conhecimento que se tem é decorrente de estudos na área ambiental. Martins (1996 apud FERRARI, 2000) caracterizou alguns elementos na poeira total em suspensão na atmosfera no município de Santa Gertrudes, mas não especificamente o quartzo.

Sobre a exposição ocupacional à poeira nos atuais processos de fabricação dos materiais cerâmicos para revestimento, se desconhece a existência de estudos abrangentes para todo o setor, além dos levantamentos efetuados pelas próprias empresas, mais especificamente

após a publicação das alterações na Norma Regulamentadora n. 9 (NR-9), em 1994, obrigando a implantação do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA (BRASIL, 1995).

Buffon (2002), em seu trabalho sobre os riscos ocupacionais na indústria de revestimento cerâmico do pólo de Santa Gertrudes, apontou a necessidade de controle das exposições à poeira. Ainda, segundo Ferrari (2000, p.121), no ano de 1986:

A Associação Brasileira para a Prevenção de Acidentes de Trabalho (ABPA) efetuou um estudo onde foram registrados, em cada etapa do processo produtivo de placas de revestimentos cerâmicos, **por via úmida**, os níveis de exposição dos trabalhadores a poeiras inaláveis e recomendadas medidas para controle da geração de material particulado. [grifo nosso].

Pelo desconhecimento do número real de casos de silicose e de outras doenças associadas à exposição à sílica e pela pouca informação disponível sobre a poeira gerada nos processos de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento, as ações de prevenção e de controle da exposição à poeira têm sido limitadas, fazendo com que o risco de doenças respiratórias e pulmonares entre os trabalhadores do setor se considere presente.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender aos objetivos propostos, foram utilizados métodos normatizados para a coleta e para a análise de amostras da poeira gerada nas indústrias de materiais cerâmicos para revestimento do pólo de Santa Gertrudes. Os métodos selecionados foram definidos de forma a identificar parâmetros físicos e a concentração em massa e em sílica cristalina do material particulado suspenso no ar dos ambientes de trabalho.

A metodologia aplicada tem uma finalidade exploratória, ao envolver a observação das diversas etapas do processo de fabricação, a análise de amostras da massa cerâmica para produção dos revestimentos cerâmicos e a análise de amostras da poeira presente nos setores de moagem e recepção de massa, de prensagem, de esmaltação e de preparação de esmaltes e engobe.

Como primeira etapa do estudo, foi efetuada a seleção das empresas do município de Santa Gertrudes que apresentavam o mesmo processo de fabricação, onde seria realizado o trabalho de campo. Nessas empresas, foi efetuado um reconhecimento preliminar de seus processos, com a observação sistemática das operações realizadas em cada setor produtivo, de forma a identificar as fontes de geração da poeira nos ambientes industriais.

Em uma segunda etapa, foi realizado o estudo de caráter exploratório e descritivo por meio de amostras da poeira e da análise da massa cerâmica processada por cada empresa no período da avaliação de campo.

As amostras de poeira foram coletadas e analisadas conforme os procedimentos técnicos e métodos de ensaio recomendados pela FUNDACENTRO (TEIXEIRA et al., 1985; SANTOS, 1989, FUNDACENTRO, 2001, 2002, 2007). As técnicas analíticas utilizadas na

análise da poeira foram a gravimetria e a difratometria de raios-X (DRX). As amostras da massa cerâmica foram analisadas por DRX, segundo procedimento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT/SP (IPT, 1999).

5.1 Seleção das empresas de fabricação de revestimentos cerâmicos

A seleção das empresas de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento do pólo de Santa Gertrudes foi efetuada a partir de uma lista dos empreendimentos da região, fornecida pela subdelegacia do Ministério do Trabalho e Emprego de São Carlos/SP. Foram escolhidas empresas com indústrias no município de Santa Gertrudes e com a fabricação de placas cerâmicas esmaltadas pelo processo por via seca. Procurou-se selecionar apenas uma planta industrial por empresa, uma vez que se verificou que algumas indústrias pertenciam a um mesmo grupo empresarial. Dessa forma, foram selecionadas nove fábricas, onde foram coletadas as amostras de poeira e da massa cerâmica, no período de agosto a dezembro de 2005 e em junho de 2006, totalizando um universo de 50%, mais duas, do conjunto das indústrias relacionadas e em operação no município de Santa Gertrudes no período do levantamento.

5.2 Coleta das amostras de poeira

Para fins da caracterização do material particulado suspenso no ar, foram coletadas 80 amostras da poeira, sendo 60 amostras de poeira respirável e 20 amostras de poeira total.

A coleta de poeira total, em algumas áreas das indústrias estudadas, foi realizada para efeito comparativo da sua concentração com a concentração da poeira respirável, sendo utilizada como referência para análise sobre a predominância de tamanho das partículas na poeira gerada em diferentes etapas do processo industrial. A concentração de poeira total poderá ser também um indicador para monitorar o controle da geração de poeira em estudos futuros.

As amostras de poeira foram obtidas por meio de um dispositivo de coleta apropriado,

pelo qual se fez passar um volume determinado de ar através de um filtro de membrana de policloreto de vinila (PVC), de 37 milímetros (mm) de diâmetro e 5 micrometros (μm) de poro. Foram utilizadas bombas de amostragem de baixa vazão, com correção eletrônica de vazão e registro automático do volume de ar coletado, corrigido para as condições de temperatura e pressão encontradas. As bombas foram previamente calibradas nas vazões requeridas para a coleta das amostras. O dispositivo de coleta utilizado foi o porta-filtro de poliestireno de 37 mm, composto pela tampa, um anel central e a base, no qual foi inserido o suporte para o filtro e o filtro de membrana, conforme ilustrado na Figura 5.1.

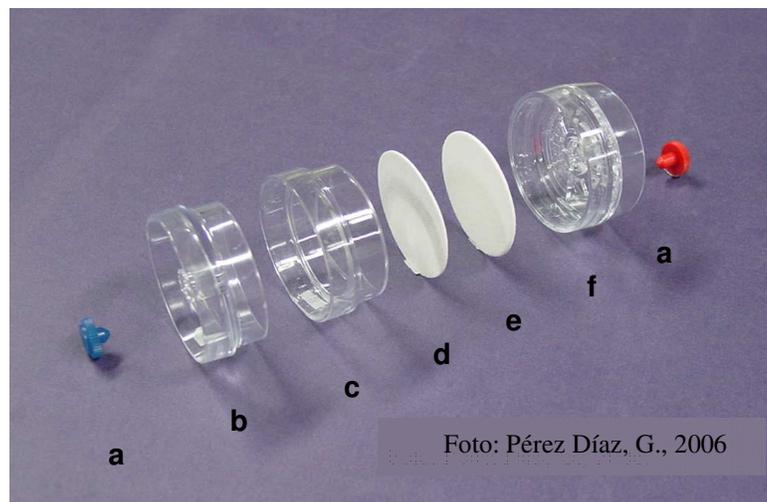


Figura 5.1 – Vista explodida do dispositivo de coleta (porta-filtro de poliestireno) com seus componentes: (a) plugues de vedação, (b) tampa com orifício de entrada do ar, (c) anel central, (d) filtro de membrana, (e) suporte do filtro e (f) base com orifício de saída do ar

O filtro de membrana é um filtro de malha rígida, uniforme e contínua, de material polímero, com tamanhos de poro determinados com precisão durante a sua fabricação. O suporte do filtro é um disco de celulose e sua função é facilitar a distribuição do fluxo de ar e sustentar o filtro de membrana, impedindo que o mesmo se rompa.

Para a coleta da poeira respirável, foi necessário acoplar ao dispositivo de coleta um separador de partículas. O separador de partículas usado para separar as partículas dentro da fração de tamanho respirável foi o ciclone de nylon Dorr-Oliver de 10 mm de abertura (Figura 5.2).



Figura 5.2 – Separador de partículas ciclone de nylon Dorr-Oliver de 10 mm

Para a coleta da poeira total, se utilizou o dispositivo de coleta formado pelo porta-filtro de poliestireno de 37 mm, de três peças, com face fechada e orifício para a entrada do ar de 4 mm de diâmetro, contendo o suporte do filtro e o filtro de membrana de 37 mm (Figura 5.1), acoplado diretamente por uma mangueira à bomba de amostragem.

Na coleta das amostras de poeira respirável, para que houvesse a separação das partículas dentro dos critérios de separação requeridos, as amostras foram obtidas com bombas de amostragem calibradas para um fluxo de aspiração do ar de $1,7 \text{ L/min} \pm 5\%$. As amostras de poeira total foram coletadas com as bombas calibradas para um fluxo de aspiração do ar de $2,0 \text{ L/min} \pm 5\%$.

A Figura 5.3 (a e b) apresenta os sistemas completos para a coleta de amostras de poeira total e de poeira respirável.

As Normas NHO-07 (FUNDACENTRO, 2002) e NBR 10562 (ABNT, 1988) descrevem os procedimentos de calibração primária, pelo método da bolha de sabão, que se aplicaram às bombas de amostragem. As bombas utilizadas apresentam mecanismos que permitem a compensação automática da perda de carga introduzida pela deposição da poeira sobre o filtro durante a coleta e outras alterações em função da pressão e da temperatura

atmosféricas, mantendo a vazão constante, dentro de um intervalo de $\pm 5\%$, e registrando esses valores. Pela utilização dos dados de volume de ar corrigidos, registrados pelas bombas, não foi necessária a aferição da vazão da bomba em campo, ao final da coleta das amostras, e a introdução dos procedimentos de correção preconizados pelas normas indicadas.



Foto: Nicolau, J. C., 2007

(a)



Foto: Pérez Díaz, G., 2006

(b)

Figura 5.3 – Sistema de coleta utilizado para poeira total (a) e para poeira respirável (b), formado pela bomba de amostragem, mangueira e dispositivos de coleta correspondentes

As amostras de poeira respirável foram obtidas por meio de coleta nos próprios trabalhadores (coleta individual ou pessoal), sem modificar as rotinas de trabalho executadas nos setores escolhidos para estudo, e por meio de coleta de área (estática) em locais fixos no ambiente de trabalho, quando a coleta individual não se mostrava apropriada ou suficiente para os objetivos do estudo. Na coleta individual, o sistema de coleta é colocado no trabalhador (Figura 5.4), sendo a bomba de amostragem fixada na sua cintura e o dispositivo de coleta posicionado na altura da sua zona respiratória. A zona respiratória compreende a região hemisférica de raio de 150 ± 50 mm, aproximadamente, a partir das narinas. Na obtenção de amostras de poeira nas áreas do processo industrial, os conjuntos de amostragem para poeira respirável e para poeira total foram montados em tripés, com os dispositivos de coleta posicionados na altura média da zona respiratória dos trabalhadores, conforme Figura 5.5.

A definição dos trabalhadores para a coleta individual e das áreas e locais para a coleta estática foi realizada em função do tipo de atividade e de exposição dos trabalhadores e da localização das fontes de geração e de emissão de poeira.



Figura 5.4 – Coleta individual de amostra de poeira respirável



Figura 5.5 – Coleta de área de amostras de poeira, com detalhes do sistema de coleta para poeira respirável (a) e para poeira total (b).

5.3 Análise das amostras de poeira

A análise das amostras de poeira foi realizada em duas etapas pelo laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de Raios-X (LMGD) da Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO.

Inicialmente, as amostras foram analisadas por gravimetria para se determinar as massas de poeira total e de poeira respirável coletadas nos filtros de membrana previamente pesados e fornecidos pelo LMGD. Após a análise gravimétrica, as amostras de poeira respirável que se apresentaram dentro dos critérios de qualidade estabelecidos pelo laboratório e com as exigências analíticas necessárias foram preparadas para análise da sílica cristalina pelo método “Determinação quantitativa de sílica livre cristalizada por difração de raios-X” (SANTOS, 1989), conforme descrição na seção 3 a partir da página 67.

5.3.1 Gravimetria

Na análise das amostras de poeira por gravimetria, utilizou-se uma balança analítica com sensibilidade de 0,01 mg, previamente aferida com padrões com massas rastreáveis na faixa de interesse analítico. A análise foi realizada conforme o método de ensaio descrito na NHO-03 – Análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros de membrana (FUNDACENTRO, 2001). Os filtros de membrana foram pesados antes da coleta e posteriormente à obtenção das amostras. Por diferença entre a massa final e a massa inicial do filtro se obteve a massa de poeira coletada em cada amostra.

Foram analisadas por gravimetria as 80 amostras de poeira coletadas. Apenas as amostras de poeira respirável com massa igual ou superior a 0,10 mg (10 vezes o limite de detecção para quartzo) foram preparadas para análise por difração de raios-X (DRX). Amostras com massa superior a 2 mg (filtro saturado) ou, ainda, que apresentavam material desprendido do filtro de membrana não foram analisadas por DRX.

5.3 2 Difração de raios-X (DRX)

Para identificar e quantificar, em cada amostra de poeira respirável, a presença dos diferentes polimorfos da sílica cristalina, utilizou-se um difratômetro de raios-X, marca Phillips, modelo PW1710, com tubo com ânodo de cobre, provido de trocador automático de amostras, monocromador de grafite, detector de cintilação e spinner automático. Inicialmente, para verificação da presença dos analitos de interesse, realizou-se uma análise qualitativa prévia das amostras por difração de raios-X, nas seguintes condições: gerador de tensão e de corrente ajustado para 40 kV e 25 mA, varredura em passos de $0,01^\circ$ $2\theta/s$ e intervalo angular de 20° a 30° 2θ . A sílica cristalina foi identificada como α -quartzo, não sendo encontrados outros polimorfos do quartzo. Os difratogramas foram interpretados utilizando as fichas cristalográficas do banco de dados do JCPDS/ICDD (ICDD, 1978) e o *software* PC-IDENTIFY.

A análise quantitativa do α -quartzo se realizou por comparação, por meio de regressão linear, das intensidades de difração obtidas para os picos característicos do α -quartzo, presentes nas amostras de poeira, com a curva de calibração, composta por padrões de referência contendo quantidades conhecidas de α -quartzo (SANTOS, 1989). O LMGD utiliza o material de referência padrão 1878a para o α -quartzo respirável do *National Institute of Standards and Technology* – NIST (NIST, 1999).

Nas condições operacionais do difratômetro, e com os procedimentos de preparação das amostras e a metodologia analítica aplicada, o LMGD obtém um limite de detecção de 0,007 mg de quartzo.

Foram analisadas 43 amostras de poeira respirável para a identificação e determinação da massa de α -quartzo.

5.4 Coleta e análise das amostras de massa cerâmica

Para melhor correlacionar a presença do α -quartzo na poeira respirável com o processo industrial, e identificar outros componentes que também podem estar presentes no material particulado suspenso no ar, a partir da moagem e beneficiamento das argilas, foram coletadas amostras da massa cerâmica que estava sendo conformada nas prensas durante o período em que foi realizada a avaliação da poeira. As amostras foram coletadas e armazenadas em frascos plásticos fornecidos pelo LMGD, retirando-se, com o próprio recipiente, uma pequena porção da massa cerâmica da esteira transportadora da saída dos silos principais de armazenamento para as prensas.

As amostras de massa cerâmica processada pelas nove indústrias estudadas foram encaminhadas para o IPT/SP e analisadas por difratometria de raios-X (DRX) pelo laboratório de análises químicas (L/LAQ/QI) do Centro de Metrologia em Química, conforme o procedimento interno CMQ-LAQ-PE-QI-004 (DRX) (IPT, 1999).

Inicialmente, as amostras de massa cerâmica foram preparadas por meio de um moinho de disco, constituído por uma panela de aço revestida interiormente com ágata, no interior da qual existem dois anéis concêntricos, também de ágata. A panela de moagem foi submetida à rotação e trepidação mecânica, produzindo-se a cominuição das partículas, pela força de cisalhamento, até se atingir a granulometria requerida para a análise por DRX, ou seja, partículas com granulometria inferior à peneira # ABNT 200 (abertura de 74 μm). As amostras da massa cerâmica fragmentada foram então prensadas, manualmente, sobre o porta-amostra utilizado no difratômetro.

Para a determinação das principais fases mineralógicas presentes na massa cerâmica, as pastilhas com as amostras foram submetidas à difração de raios-X. Foi utilizado um difratômetro de raios-X, marca RIGAKU, com tubo com ânodo de cobre ($\text{CuK-}\alpha$), monocromador automático e detector de cintilação. As amostras foram analisadas nas seguintes condições: gerador de tensão e de corrente ajustado para 40 kV e 20 mA, intervalo angular de 2° a $70^\circ 2\theta$ e varredura em passos de $0,1^\circ 2\theta/\text{s}$.

A interpretação qualitativa dos difratogramas foi efetuada por meio do *software* PCPDFWIN (JCPDS, 1997), instalado no equipamento de análise, onde consta o banco de dados do *International Centre for Diffraction Data*. O *software* PCPDFWIN permite liberar os resultados em ordem de predominância (análise semi-quantitativa) com base na intensidade da altura dos picos dos compostos dos diferentes minerais presentes na massa cerâmica.

5.5 Determinação das concentrações de poeira

As concentrações de poeira foram determinadas como concentração de poeira total, de poeira respirável e de α -quartzo respirável no ar. Para o cálculo das concentrações de poeira nos ambientes de trabalho, foram consideradas apenas as amostras de poeira que se apresentavam dentro dos critérios de qualidade estabelecidos pelo LMGD da FUNDACENTRO.

5.5.1 Concentração de poeira total e respirável

Com os resultados da análise gravimétrica efetuada pelo LMGD, expressos em massa de poeira, em miligramas, e o volume de ar amostrado em cada filtro, em metros cúbicos, obtido pelo registro da bomba de amostragem, calcularam-se a concentração da poeira total e da poeira respirável, em miligramas por metro cúbico de ar (mg/m^3), conforme indicado na Equação 5.4.

$$C = \frac{m}{V} \quad (5.4)$$

onde:

C = concentração da poeira (mg/m^3)
 m = (massa da amostra de poeira) (mg)
 V = volume de ar amostrado (m^3)

5.5.1.1 Volume de ar amostrado

O volume de ar amostrado pode ser calculado também por meio da vazão da bomba de amostragem e do tempo de coleta de cada uma das amostras, conforme a Equação 5.5.

$$V = \frac{Qm \times t}{1000} \quad (5.5)$$

onde:

V = volume de ar amostrado (m^3)
 Qm = vazão média (L/min)
 t = tempo total de coleta (min)

5.5.2 Concentração de quartzo respirável no ar

A concentração de quartzo no ar se determinou da mesma maneira que a concentração de poeira, a partir do resultado em massa de α -quartzo fornecido pelo LMGD, em miligramas, e o volume de ar coletado em cada amostra, em metros cúbicos. Para aplicação dos resultados da análise das amostras para fins de cálculo do limite de tolerância para a poeira respirável contendo α -quartzo, conforme fórmula estabelecida pela legislação brasileira, a massa determinada para o quartzo em cada amostra foi relacionada com o respectivo valor em massa da poeira respirável e indicado esse resultado como porcentagem de SiO_2 na poeira ($\%SiO_2$).

5.6 Apresentação dos resultados

Os resultados da avaliação da poeira são apresentados como concentração de poeira

total, de poeira respirável e de α -quartzo respirável no ar, em miligramas por metros cúbicos (mg/m^3). Foram agrupados em quatro setores ou etapas do processo de fabricação das placas cerâmicas esmaltadas: moagem e recepção de massa, prensas, esmaltação e preparação de esmaltes e engobe, devido às semelhanças do arranjo estrutural, dos equipamentos e do processo das nove plantas industriais avaliadas.

Nos casos onde se coletou mais de uma amostra para a mesma situação ambiental avaliada, a concentração de poeira foi determinada como concentração média ponderada pelo tempo de amostragem, pela seguinte expressão (Equação 5.6):

$$C_{MPT} = \frac{C_1 t_1 + C_2 t_2 + \dots + C_n t_n}{t_{total}} \quad (5.6)$$

sendo:

- C_{MPT} = concentração média ponderada pelo tempo
- C_n = concentração de poeira da amostra n
- t_n = tempo de coleta da amostra n
- t_{total} = tempo total de coleta = $t_1 + t_2 + \dots + t_n$

Os resultados relativos à composição das massas cerâmicas são fornecidos em ordem de predominância dos diferentes minerais e de outros compostos nas amostras e expressos, de forma semi-quantitativa, em porcentagem (%) de cada principal constituinte da massa cerâmica analisada.

5.7 Análise estatística dos resultados de concentração de poeira

Neste estudo, pelo número de amostras obtidas nas condições delineadas para a sua realização, foram utilizados, para comparar as concentrações médias aritméticas dos diferentes tipos de poeira nos setores avaliados, o teste análise de variância (ANOVA) com o teste de Scheffé ou, quando não foi possível adotá-los, aplicou-se o teste paramétrico de t' Student, para

verificar a significância dos resultados. Para a análise qualitativa do risco associado à exposição ao quartzo, utilizou-se o teste de Associação de Qui-Quadrado ou o teste exato de Fischer.

A comparação das médias dos resultados obtidos para a concentração de α -quartzo respirável se restringiu aos setores de moagem e recepção de massa e de prensas em função da rigidez do teste estatístico, ou seja, somente foi possível comparar os dois setores em função do número de amostras. Adotou-se o nível de significância estatística para $p \leq 0,05$ e as análises foram realizadas com o *software* SAS/STAT[®] versão 9.1.3 (SAS INSTITUTE, 2002-2003).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados indicam as principais características da poeira originada no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos esmaltados, com conformação das placas cerâmicas por prensagem e moagem da argila a seco. Essas características foram obtidas pela separação das partículas com tamanhos na fração respirável do total de partículas suspensas no ar, pela determinação qualitativa e quantitativa da sílica cristalina presente na poeira e pela concentração de poeira total, de poeira respirável e de α -quartzo respirável nos ambientes de trabalho, em conjunto com a análise da composição mineralógica da massa cerâmica processada em cada empresa. Com esses resultados, é efetuada uma discussão sobre o tamanho das partículas e a composição em sílica cristalina da poeira e sobre os valores das concentrações de α -quartzo respirável e de poeira encontrados perante os valores limite de exposição adotados como referência neste estudo.

Os resultados representam unicamente as situações existentes no período de avaliação do material particulado suspenso no ar em cada uma das indústrias estudadas, podendo as concentrações de poeira e de α -quartzo apresentarem variações a cada dia, durante a jornada semanal de trabalho, conforme as ferramentas e equipamentos utilizados, as operações realizadas, os produtos e matérias-primas processadas e as condições do ar ambiente.

Os resultados da análise da massa cerâmica de cada uma das indústrias são específicos para a mistura de matérias-primas processada durante o período de coleta das amostras da poeira.

Os dados apresentados referem-se aos quatro principais setores ou etapas do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, realizado por via seca, em nove plantas industriais, que serão aqui denominadas *A, B, C, D, E, F, G, H e I*.

As plantas industriais apresentavam, no período do estudo, processos de fabricação com as características indicadas no Quadro 6.1.

QUADRO 6.1 – CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS NAS DIFERENTES EMPRESAS

Empresa	Nº de prensas em operação	Linhas de esmaltação em operação	Nº de fornos/comprimento	Moagem da argila	Moagem do esmalte/engobe (nº de moinhos de bolas)
A	3	2	2 fornos/ 70 m e 56 m	Britador de martelo (desativado no período do estudo)	6 moinhos
B	5	2	2 fornos/ 105 m	Recepção de massa pronta	8 moinhos
C	2	1	1 forno/ 160 m	Britador de martelo e moinho pendular	4 moinhos
D	4	2	2 fornos/ 94 m e 98 m	Recepção de massa pronta	10 moinhos
E	4	3	2 fornos/ 126 m e 142 m	Britador de martelo	8 moinhos
F	4	2	2 fornos/ 90 m	Recepção de massa pronta	7 moinhos
G	8	4	4 fornos/ 150 m	Britador de martelo e moinho pendular	15 moinhos
H	4	2	2 fornos/ 118 m	Britador de martelo e moinho pendular	7 moinhos
I	4	2	2 fornos/ 160 m	Britador de martelo e moinho pendular	8 moinhos

6.1 Tamanho das partículas e concentrações de poeira e de α -quartzo

Os resultados obtidos na análise da poeira do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos estudado permitem confirmar a presença da sílica cristalina, como α -quartzo, no material particulado suspenso no ar. Não se encontraram outros polimorfos da sílica cristalina na poeira. As amostras coletadas indicam a presença no material particulado de partículas com tamanho na fração respirável, conforme definição aceita pela Convenção ACGIH[®]/ISO/CEN, sendo identificado o α -quartzo em 72% das amostras de poeira respirável analisadas.

Pela comparação dos resultados obtidos com a coleta da poeira total e com a coleta da poeira respirável, nos setores de moagem e recepção de massa e de prensas, pode-se inferir que a fração respirável das partículas na poeira é relativamente a de menor concentração com relação às demais frações de tamanho juntas (torácica e inalável), em virtude das características de fracionamento das partículas de argila determinadas pelos equipamentos e procedimentos existentes para o seu processamento.

Os valores de concentração de poeira nos setores avaliados, por empresa, estão apresentados nas Tabelas 6.1 a 6.4. como concentração de poeira total (mg/m^3), concentração de poeira respirável (mg/m^3) e concentração de α -quartzo respirável (mg/m^3) e foram calculados conforme seção 5.5, p. 92. Nessas tabelas estão indicados, também, a composição de α -quartzo (% SiO_2) na poeira respirável e o volume de ar coletado, em litros (L), para obtenção de cada amostra de poeira. A indicação do teor de α -quartzo na poeira respirável permite verificar o limite de tolerância, como indicado na legislação brasileira, para a concentração de poeira determinada. A partir do dado de volume de ar pode-se conhecer o tempo de coleta das amostras de poeira para se verificar a sua representatividade na jornada de trabalho

TABELA 6.1 – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA POEIRA NOS SETORES DE MOAGEM E DE RECEPÇÃO DE MASSA

concentração de poeira respirável:	intervalo de medida: 0,08 – 0,95 mg/m ³	Média: 0,45 mg/m ³
concentração de α-quartzo respirável:	intervalo de medida: 0,01 – 0,16 mg/m ³	Média: 0,06 mg/m ³
concentração de poeira total:	intervalo de medida: 1,15 – 13,79 mg/m ³	Média: 5,84 mg/m ³

Empresa	Concentração de poeira total	Concentração de poeira respirável	α -Quartzo na poeira respirável	Concentração de α -quartzo respirável no ar	Volume de ar amostrado (L)	
	(mg/m ³)	(mg/m ³)	(% SiO ₂)	(mg/m ³)	Poeira total	Poeira respirável
A (*)	...	0,16	< 10,0	< 0,01	...	627,43
B (**)	6,26	0,29	4,8	0,01	831,93	723,92
C (*)	2,68	...	...	...	923,31	...
D (**)	13,79 (#)	0,52	18,5	0,10	797,74	518,53
E (*)	2,37	0,14	10,0	0,01	811,36	691,05
F (**)	3,70	0,30	5,6	0,02	717,41	607,32
G (*)	4,17	0,47	13,6	0,06	547,09	464,09
H (*)	1,15	0,08	...	...	958,86	820,29
I (*)	8,48 (§)	0,71	15,2	0,11	534,31	463,14
	11,50 (§)	0,95	16,7	0,16	672,69	630,58
	...	0,48	11,1	0,05	...	558,64
	...	0,59	9,1	0,05	...	557,41
	4,28	0,70	14,9	0,10	352,85	672,46

NOTAS: 1 – Indicações efetuadas: (#) – valor estimado (amostra solta do filtro); (*) setor de moagem; (**) setor de recepção de massa; (§) média ponderada no tempo

2 – Sinal convencional utilizado:

... Dado não disponível

TABELA 6.2 – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA POEIRA NO SETOR DE PRENSAS

concentração de poeira respirável:	intervalo de medida: 0,07 – 0,63 mg/m ³	Média: 0,30 mg/m ³
concentração de α-quartzo respirável:	intervalo de medida: 0,01 – 0,06 mg/m ³	Média: 0,03 mg/m ³
concentração de poeira total:	intervalo de medida: 0,95 – 4,57 mg/m ³	Média: 2,42 mg/m ³

Empresa	Concentração de poeira total (mg/m ³)	Concentração de poeira respirável (mg/m ³)	α -Quartzo na poeira respirável (% SiO ₂)	Concentração de α -quartzo respirável no ar (mg/m ³)	Volume de ar amostrado (L)	
					Poeira total	Poeira respirável
A	...	0,60	10,3	0,06	...	652,91
B	...	0,63	4,2	0,03	...	676,26
C	...	0,27	4,8	0,01	...	768,84
D	...	0,26	15,0	0,04	...	755,60
E	...	0,22	6,7	0,01	...	678,56
	...	0,19	< 8,3	< 0,02	...	621,04
F	3,78	0,25	6,3	0,01	679,56	651,18
	...	0,50	6,7	0,03	...	605,97
G	...	0,54	11,1	0,06	...	494,63
	4,57	0,30	13,3	0,04	325,91	491,42
H	...	0,36	11,1	0,04	...	751,93
	...	0,36	8,0	0,03	...	693,58
I	...	0,20	8,3	0,02	...	590,70
	...	0,19	8,3	0,02	...	616,65
	1,34	0,10	...	...	567,36	475,22
	0,95 ^(§)	0,07	...	...	719,58	608,20
	1,57	0,09	...	...	693,55	654,90

NOTAS: 1 – Indicações efetuadas: (§) média ponderada no tempo

2 – Sinal convencional utilizado:

... Dado não disponível

TABELA 6.3 – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA POEIRA NO SETOR DE ESMALTAÇÃO

concentração de poeira respirável:	intervalo de medida: 0,05 – 0,54 mg/m ³	Média: 0,21 mg/m ³
concentração de α-quartzo respirável:	intervalo de medida: 0,01 – 0,03 mg/m ³	Média: 0,02 mg/m ³
concentração de poeira total:	0,48 mg/m ³	

Empresa	Concentração de poeira total (mg/m ³)	Concentração de poeira respirável (mg/m ³)	α -Quartzo na poeira respirável (% SiO ₂)	Concentração de α -quartzo respirável no ar (mg/m ³)	Volume de ar amostrado (L)	
					Poeira total	Poeira respirável
A	...	0,54	5,4	0,03	...	688,74
B	...	0,12	...	...	...	658,99
C	...	0,13	...	...	...	294,98
	...	0,10	...	...	...	698,23
D	...	0,42	7,1	0,03	...	699,97
	...	0,34	4,3	0,01	...	679,97
E	...	0,20	...	...	...	653,52
	...	0,33	4,8	0,02	...	627,56
F	...	0,05	...	...	...	439,49
	...	0,17	...	...	...	601,40
G	...	0,08	...	...	...	366,17
H	...	0,24	...	...	...	710,26
	...	0,22	...	...	...	723,01
	...	0,18	...	...	...	707,10
I	...	0,08	...	...	...	893,59
	0,48	...	...	...	1.046,21	...

NOTA: 1 – Sinal convencional utilizado:

... Dado não disponível

TABELA 6.4 – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA POEIRA NO SETOR DE PREPARAÇÃO DE ESMALTES E ENGOBE

concentração de poeira respirável: intervalo de medida: 0,15 – 1,71 mg/m³ Média: 0,30 mg/m³
concentração de α -quartzo respirável: intervalo de medida: 0,08 – 0,10 mg/m³ Média: 0,09 mg/m³

Empresa	Concentração de poeira total (mg/m ³)	Concentração de poeira respirável (mg/m ³)	α -Quartzo na poeira respirável (% SiO ₂)	Concentração de α -quartzo respirável no ar (mg/m ³)	Volume de ar amostrado (L)	
					Poeira total	Poeira respirável
A	...	0,36	...	...	...	215,76
B
C	...	1,71	5,7	0,10	...	309,23
D	...	0,32	...	...	...	251,91
E
F	...	0,70	...	...	...	157,85
G
H
I	...	0,45	17,6	0,08	...	379,73
	...	0,15	...	...	...	402,95

NOTA: 1 – Sinal convencional utilizado:

...Dado não disponível

6.2 Significância estatística dos resultados das concentrações de poeira

Pela análise estatística dos resultados das concentrações de poeira pode-se verificar que com relação à concentração de quartzo respirável houve uma diferença significativa pelo teste t'Student nas médias das concentrações entre o setor de moagem e de recepção de massa e o setor de prensas ($t=2,22$; $p=0,049$), mesmo o teste apontando estar no limite de aceitação da significância estatística (*borderline*). Aplicando-se a análise qualitativa do Qui-Quadrado, usando o valor de $0,04 \text{ mg/m}^3$ para a avaliação do risco de exposição ao α -quartzo respirável, pode-se afirmar que o risco de exposição é estatisticamente maior no setor de moagem e de recepção de massa (70,00%) do que no setor de prensas (15,38%) ($\chi^2=7,08$; $p=0,008$).

Com relação à poeira respirável, pela análise ANOVA houve diferenças estatísticas entre as concentrações médias dos quatro setores ($F=4,20$; $p=0,010$). Pelo teste de Scheffé identificaram-se diferenças significativas no setor de preparação de esmaltes e na linha de esmaltação e identificou-se que a exposição dos trabalhadores à poeira respirável é semelhante no setor de prensas e no setor de moagem e recepção de massa. Aplicando-se o teste t'Student confirma-se essa semelhança entre os dois setores ($t=1,81$; $p=0,081$).

As concentrações médias de poeira total nos dois setores onde foram determinadas, moagem e recepção de massa e prensas, são estatisticamente diferentes ($t=2,26$; $p=0,042$).

As Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 indicam os resultados de concentração de poeira nos setores avaliados, por tipo de poeira, com seus valores máximo, mínimo, médio e de mediana.

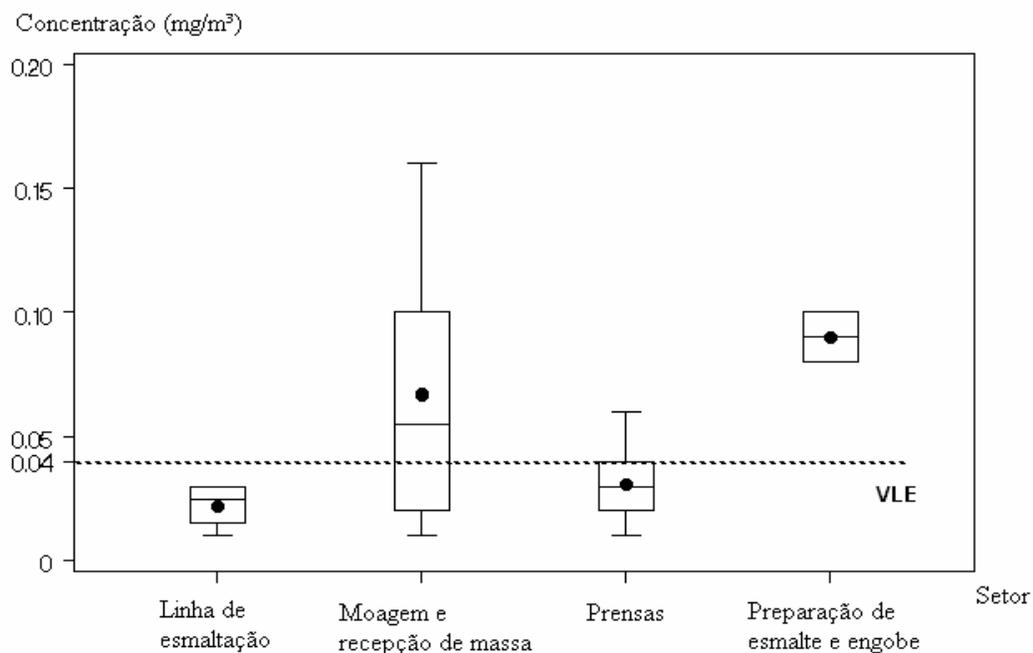


Figura 6.1 – Concentração de α -quartzo respirável, comparada ao valor limite de exposição (VLE), por setor

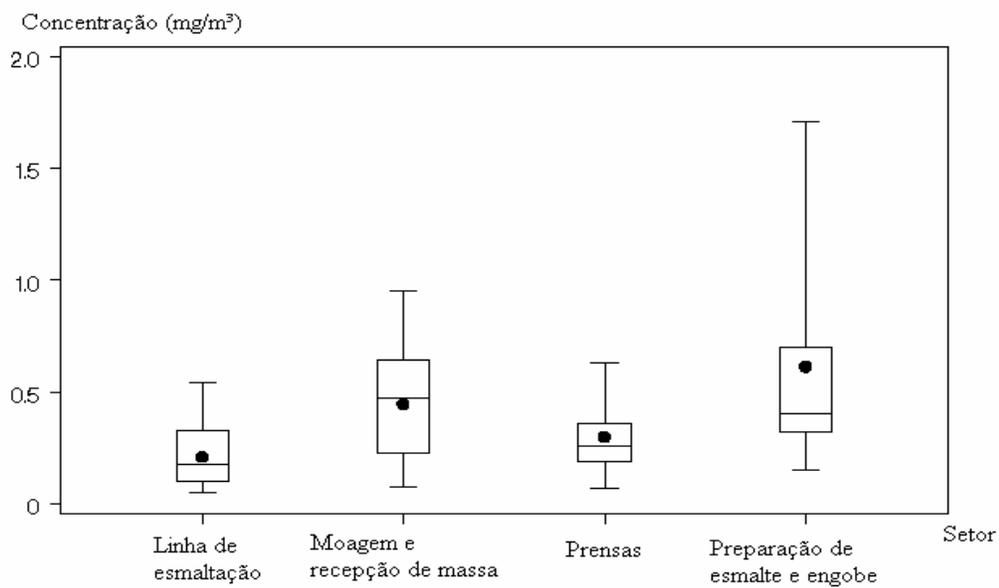


Figura 6.2 – Concentração de poeira respirável, por setor

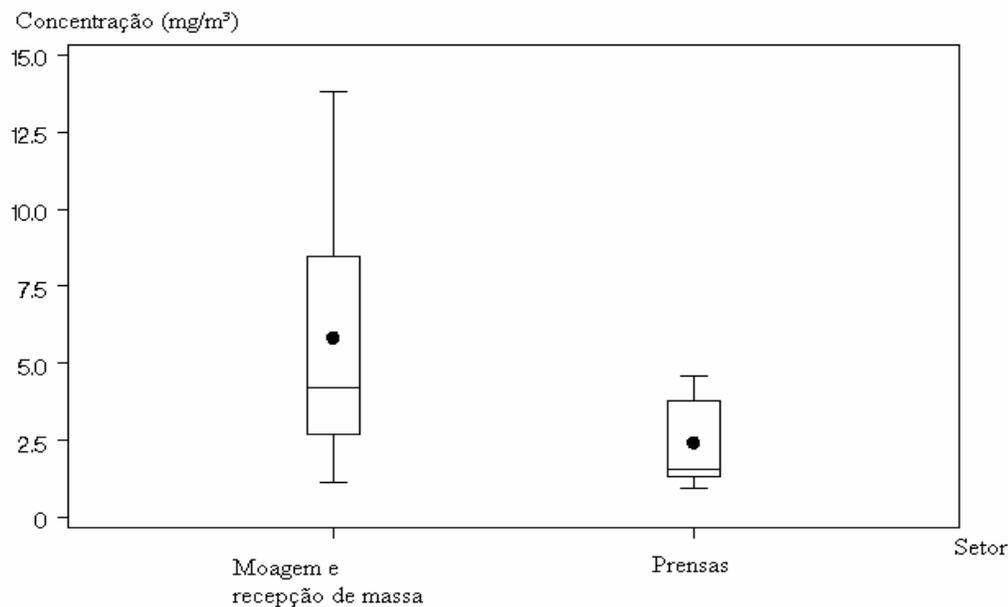


Figura 6.3 – Concentração de poeira total, nos setores de moagem e recepção de massa e de prensas

6.3 Concentrações de α -quartzo perante os limites de exposição ocupacional

O α -quartzo foi detectado na maioria das amostras de poeira respirável analisadas (72%) e sua quantidade variou de 4,2% a 18,5%, considerados todos os setores das empresas estudadas, conforme ilustrado na Figura 6.4.

Esse resultado indica que a exposição à poeira no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, por via seca, pode representar risco de silicose para os trabalhadores. Para avaliar esse risco foi efetuada a análise dos resultados de concentração de α -quartzo obtidos perante o valor limite de exposição (VLE) de 0,04 mg/m³ (ACGIH[®], 2005), adotado como referência para a poeira respirável de α -quartzo e a jornada de trabalho de 44 horas semanais. Na Figura 6.5 observa-se o valor de concentração de α -quartzo respirável encontrado em cada setor, por empresa, em comparação com o VLE.

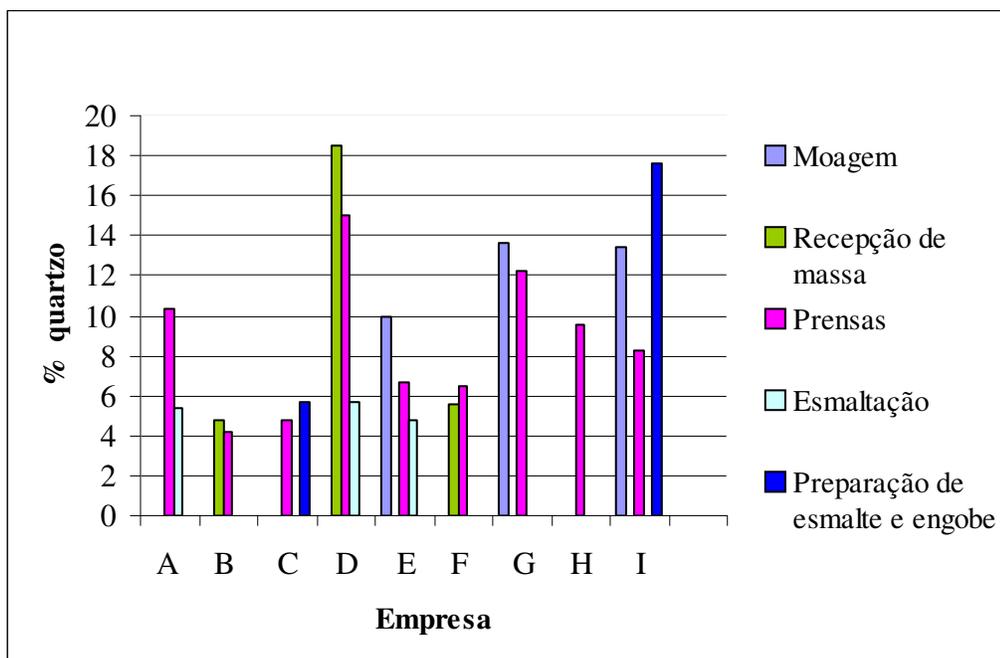


Figura 6.4 – Teores de α -quartzo na poeira respirável dos diferentes setores, por empresa

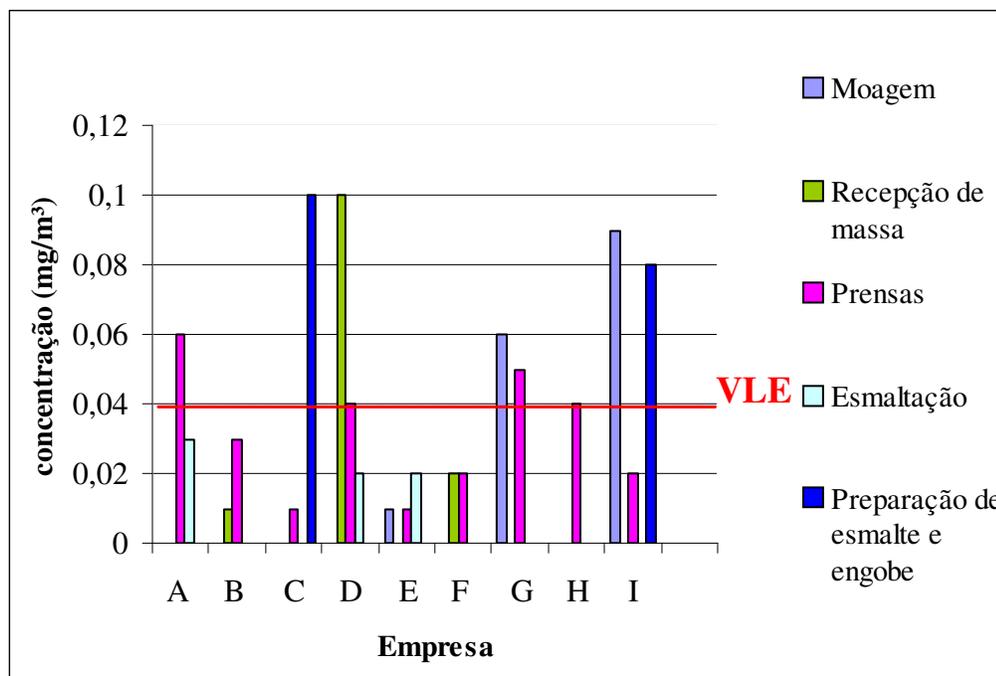


Figura 6.5 – Concentração de α -quartzo respirável nos diferentes setores, por empresa

Perante os valores médios de α -quartzo ($\% \text{SiO}_2$), determinados pelas amostras de poeira respirável coletadas em cada setor, foi calculado o limite de tolerância da legislação brasileira para a poeira respirável contendo sílica livre cristalizada presente nos ambientes de

trabalho, de acordo com o apresentado na seção 3, p. 70, como uma segunda referência na discussão da necessidade de seu controle em cada empresa. A Tabela 6.5 apresenta os valores de limite de tolerância para a poeira respirável, para jornadas de trabalho de até 48 horas semanais, calculados segundo o Anexo 12, da NR-15, da Portaria nº 3214/78 do Ministério do Trabalho (BRASIL, 1978), a serem observados nos setores avaliados nas empresas.

TABELA 6.5 – LIMITE DE TOLERÂNCIA PARA A CONCENTRAÇÃO DE POEIRA RESPIRÁVEL, EM CADA SETOR AVALIADO, POR EMPRESA, SEGUNDO O ANEXO 12 DA NR-15

SETOR EMPRESA	MOAGEM E RECEPÇÃO DE MASSA (mg/m ³)	PRENSAS (mg/m ³)	ESMALTAÇÃO (mg/m ³)	PREPARAÇÃO DE ESMALTES E ENGOBE (mg/m ³)
A	...	0,65	1,08	...
B	1,18	1,29	...	...
C	...	1,18	...	1,04
D	0,39	0,47	1,04	...
E	0,67	...	1,18	...
F	1,05	0,94	...	...
G	0,51	0,56	...	...
H	...	0,69	...	...
I	0,52	0,78	...	0,41

NOTA: 1 – Sinal convencional utilizado:

... Dado não disponível

Analisando-se os valores de concentração (C) de poeira respirável e de α -quartzo respirável apresentados nas Tabelas 6.1 a 6.4, em comparação com os valores limite de exposição de referência, pode-se constatar que:

- A concentração média de α -quartzo respirável no ar em cada setor específico do processo,

considerando as nove empresas estudadas, foi de: 0,06 mg/m³ no setor de moagem e recepção de massa, de 0,03 mg/m³ no setor de prensas, de 0,02 mg/m³ na linha de esmaltação e de 0,09 mg/m³ no setor de preparação de esmaltes e engobe. Esses valores indicam que os setores de moagem e de preparação de esmaltes e engobe das empresas são setores com risco elevado para os trabalhadores, pois existem concentrações de poeira superiores ao VLE de 0,04 mg/m³ recomendado pela ACGIH[®] para o α -quartzo.

- As maiores concentrações no ambiente de α -quartzo respirável foram determinadas no setor de moagem da empresa *I* (0,16 mg/m³, 0,11 mg/m³ e 0,10 mg/m³) e no setor de recepção de massa da empresa *D* (0,10 mg/m³), que processa a massa pronta recebida de uma mineradora e beneficiadora ligada à própria empresa. Essas situações ocorreram, em especial, pelas empresas não disporem de sistemas para o controle da poeira na fonte ou onde os sistemas de ventilação local exaustora estavam ineficazes ou, ainda, onde as operações de limpeza são realizadas com métodos inadequados.

- Durante a alimentação dos moinhos, no setor de preparação de esmaltes e engobe, nas duas empresas em que foi possível acompanhar as operações de carga (*C* e *I*) foi constatada uma exposição importante dos trabalhadores à poeira com α -quartzo. Foram determinadas durante as operações de abertura e manuseio dos *bags* das matérias-primas, concentrações de α -quartzo respirável de 0,10 mg/m³ na empresa *C* (2,5 vezes o VLE da ACGIH[®]) e de 0,08 mg/m³ na empresa *I* (2 vezes o VLE da ACGIH[®]). Esses resultados se explicam pela possível presença de quartzo puro na mistura de matérias-primas ou devido aos teores elevados de quartzo das argilas utilizadas na formulação da mistura dos esmaltes e engobes, conforme apontam os trabalhos de Sanchez (1997) e de Galesi e colaboradores (2005). Nas empresas *C* e *I*, não havia sistema de ventilação local exaustora instalado nas plataformas de carregamento dos moinhos. Deve-se considerar, no entanto, que as exposições durante a operação de carregamento dos moinhos ocorrem por períodos de curta duração (\pm 3,0 a 3,5 horas).

- Pelo limite de tolerância da legislação brasileira (Tabela 6.5), o setor de moagem e de recepção de massa das empresas *D* ($C = 0,52$ mg/m³; $LT = 0,39$ mg/m³) e *I* ($C_{MPT} = 0,69$ mg/m³; $LT = 0,52$ mg/m³) e o setor de preparação de esmaltes e engobe da empresa *C* ($C = 1,71$ mg/m³; $LT = 1,04$ mg/m³) apresentaram concentrações de poeira superiores ao LT calculado para a poeira

respirável desses setores.

- Pelo valor limite de exposição de referência da ACGIH[®] de 0,04 mg/m³, observou-se concentrações de α -quartzo respirável superiores ao recomendado no setor de moagem e de recepção de massa da empresa *D* ($C = 0,10$ mg/m³), da empresa *G* ($C = 0,06$ mg/m³) e da empresa *I* ($C_{MPT} = 0,09$ mg/m³), no setor de prensas da empresa *A* ($C = 0,06$ mg/m³) e da empresa *G* ($C_{MPT} = 0,05$ mg/m³) e no setor de preparação de esmaltes da empresa *C* ($C = 0,10$ mg/m³) e da empresa *I* ($C = 0,08$ mg/m³).

- Das amostras de poeira respirável contendo α -quartzo, 25% indicaram concentrações superiores ao limite de tolerância determinado conforme a NR-15 (BRASIL, 1978). Adotando-se como referência o valor de 0,04 mg/m³ para o α -quartzo, o percentual de amostras de poeira respirável que apresentaram concentração de α -quartzo acima desse valor é de 42%.

Além da comparação dos valores encontrados de concentração de α -quartzo e de poeira respirável com os valores limite de exposição de referência, se está considerando na discussão sobre as características da poeira que a poeira respirável originada pela massa cerâmica e pelos esmaltes e engobes é uma poeira mista. Nesse sentido, se realiza na seção 6.4 a discussão sobre os outros possíveis constituintes da poeira, a partir das matérias-primas processadas, para que se possa proceder à sua completa caracterização no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos.

6.4 Características da poeira com relação às matérias-primas

A composição da poeira presente nos ambientes de trabalho está relacionada à composição do material sólido do qual se origina. Por essa razão, se buscou realizar neste trabalho, a partir dos dados de composição das argilas utilizadas no processo por via seca, indicados por Gaspar Jr. (1999) e por Gaspar Jr. et al. (2001), a caracterização mineralógica da massa cerâmica das empresas estudadas para identificar os seus constituintes e que também poderiam estar presentes na poeira originada do seu processamento, além do α -quartzo, uma vez

que a massa cerâmica é a fonte principal de geração do material particulado em suspensão no ar na maioria dos ambientes de trabalho das empresas. Com os resultados da análise da composição mineralógica da massa cerâmica se poderá ampliar também, em estudos futuros, a discussão sobre as características da poeira do ponto de vista de seus efeitos sobre a saúde.

A composição mineralógica, em termos de predominância dos minerais identificados por DRX, com a estimativa dos teores de cada mineral nas massas cerâmicas, é apresentada na Tabela 6.6. A Figura 6.6 ilustra a composição dos minerais comuns a todas as massas cerâmicas analisadas. Os resultados da análise semi-quantitativa das amostras das massas cerâmicas, conforme fornecidos pelo laboratório de química inorgânica do IPT/SP, indicam-se no Anexo.

Pela Figura 6.6 e pelos dados da Tabela 6.6, verifica-se que a composição mineralógica da massa cerâmica utilizada por cada uma das empresas é bastante similar, especialmente quanto à presença e aos teores de quartzo, de óxido de ferro e de minerais do grupo das micas, dos feldspatos e das esmectitas.

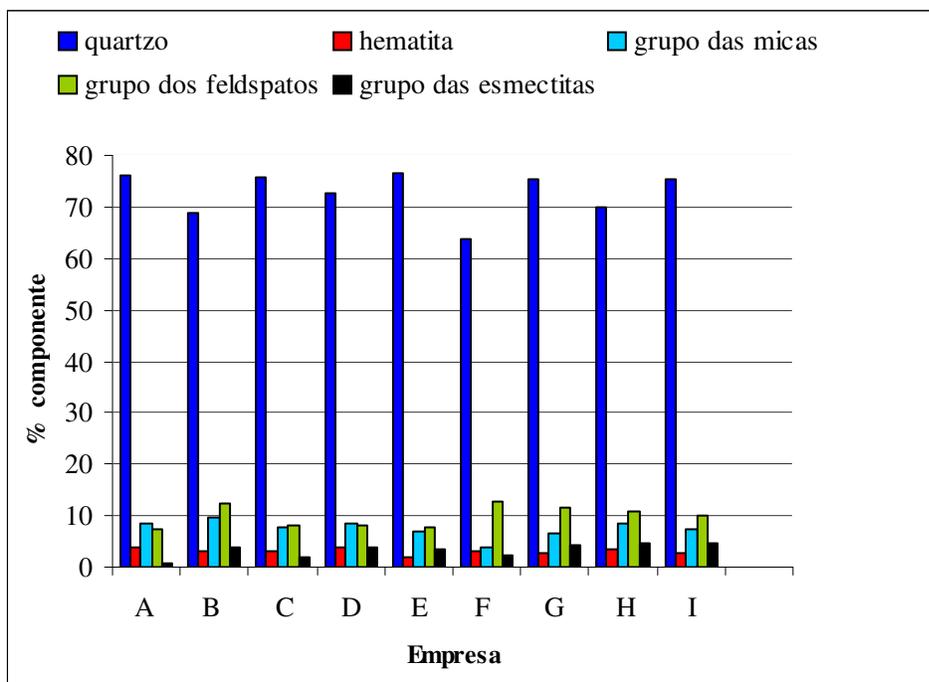


Figura 6.6 – Componentes comuns às massas cerâmicas das empresas

TABELA 6.6 – ESTIMATIVA DOS TEORES DOS PRINCIPAIS MINERAIS DA MASSA CERÂMICA DE CADA EMPRESA

Componente da massa cerâmica (%)	Quartzo	Grupo das micas		Grupo dos feldspatos		Caulinita	Grupo das cloritas	Grupo das esmectitas	Hematita	Calcita
		illita (*)	muscovita (*)	albita (*)	anortoclásio (*)		clinocloro (*)	montmorillonit a (*)		
Empresa										
A	76,3	8,4	...	7,5	...	3,5	...	0,6	3,7	...
B	68,6	9,5	...	12,3	...	2,4	...	4,0	3,2	...
C	75,8	7,9	...	8,3	...	...	2,9	1,9	3,2	...
D	72,6	...	8,4	3,4	4,8	2,6	0,4	3,8	4,0	...
E	76,7	...	7,0	0,4	7,3	0,6	2,7	3,5	2,0	...
F	63,7	...	3,7	12,6	...	0,5	...	2,3	2,9	14,4
G	75,2	...	6,4	11,5	...	...	...	4,2	2,7	...
H	70,0	...	8,6	11,0	...	2,3	...	4,8	3,4	...
I	75,5	...	7,2	9,9	...	...	...	4,7	2,7	...

FONTE: IPT/SP

NOTA: 1 – Indicações efetuadas: ... – não identificado

(*) – provavelmente

A composição similar das massas cerâmicas das empresas avaliadas era esperada, uma vez que as argilas que as compõem são procedentes da mesma formação geológica (Formação Corumbataí). A presença em todas as massas cerâmicas de determinados minerais pode ser atribuída, também, à necessidade de uma composição ideal da mistura de matérias-primas para as propriedades desejadas da massa cerâmica no seu processamento, principalmente em termos de composição em quartzo, feldspatos, álcalis e ferro (ZANARDO, 2003). Dessa forma, mesmo a mistura das matérias-primas ocorrer de maneira quase que empírica procura obter propriedades equivalentes na fabricação das placas cerâmicas e, portanto, a composição mineralógica da massa cerâmica utilizada pelas diferentes empresas é conseguida de forma similar, com base na experiência acumulada pelos responsáveis pelos processos.

Quanto às variações observadas na composição e na predominância dos minerais de cada uma das massas cerâmicas analisadas pressupõe-se que decorram, principalmente, pelas argilas beneficiadas em cada empresa terem sido extraídas por diferentes mineradoras em jazidas distintas. Nas massas cerâmicas de argilas procedentes de uma mesma jazida as diferenças poderiam ser atribuídas ao processo empírico de adição das argilas para a preparação da massa cerâmica nas empresas de Santa Gertrudes e, ainda, ao fato de que a composição das argilas varia de nível para nível e lateralmente dentro de um mesmo nível das jazidas da Formação Corumbataí, segundo aponta Zanardo (2003). A existência de material orgânico e de minerais contaminantes nas argilas também afeta a composição da massa cerâmica.

As maiores diferenças entre as massas cerâmicas das empresas foram encontradas com relação à presença do mineral do grupo da clorita, não observado na massa de seis empresas, seguida da caulinita que não apareceu na massa de três das empresas. Apenas na massa cerâmica de uma empresa foi identificada a presença da calcita.

A partir da análise dos dados de composição das matérias-primas utilizadas na fabricação dos materiais cerâmicos para revestimento, não se pode deixar de considerar que a poeira originada dessas matérias-primas é uma poeira mista e que, além do α -quartzo, as diferentes partículas dessa poeira poderiam apresentar efeitos sobre o sistema respiratório, em especial se ocorrer a deposição massiva das partículas dos silicatos que compõem a poeira da argila nos diferentes níveis do trato respiratório, como apontam Parkers (1982) e

Gamble (1986).

Apesar das poeiras minerais, com mais que 1% de sílica cristalina, serem principalmente avaliadas apenas com relação ao risco de causarem silicose, neste estudo, para efeito de referência para discussão dos valores de concentração de poeira respirável e de poeira total encontrados, as demais partículas presentes na poeira da argila serão consideradas como partículas insolúveis ou de baixa solubilidade em água (PNOS), por poderem apresentar o mecanismo de sobrecarga pulmonar, conforme definição da ACGIH[®] (2006a). Para estas partículas não há um limite de exposição ocupacional específico recomendado. Para as PNOS existem valores guias para controle de 3mg/m³ para a fração respirável e de 10 mg/m³ para a fração inalável (ACGIH[®], 2006a). Analisando-se os resultados de concentração de poeira obtidos neste estudo, verifica-se que 100% das amostras de poeira respirável apresentaram valores de concentração abaixo do valor de 3mg/m³. Isso não significa que não haja risco de exposição à poeira na fração respirável, uma vez que a poeira tem teores importantes de quartzo, mas indica que a concentração das partículas presentes dos outros constituintes minerais da argila está dentro dos parâmetros de controle. Com relação às concentrações de poeira total, em duas situações do ambiente de trabalho, avaliadas no setor de moagem e de recepção de massa de empresas distintas (*D* e *I*), verifica-se que o valor de 10 mg/m³ foi ultrapassado. Essas situações merecem uma atenção especial com relação às partículas na fração inalável presentes no total da poeira e seus prováveis efeitos sobre o sistema respiratório dos trabalhadores. No caso particular da presença de minerais do grupo das micas, do caulim e do talco na poeira respirável, existem recomendados limites de exposição ocupacional específicos para cada um desses minerais (ACGIH[®], 2006a), sendo que as micas têm um valor limite de exposição ocupacional de 3 mg/m^{3(R)}, o talco (sem asbesto e com < 1% de sílica livre cristalizada) de 2 mg/m^{3(R)} e o caulim (com < 1% de sílica livre cristalizada) de 2 mg/m^{3(R)}.

A determinação dos valores de concentração de cada componente da poeira estudada, nas diferentes frações de tamanho das partículas, permitiria ampliar a discussão sobre o risco à saúde dos trabalhadores, uma vez que o risco representado pela poeira pode ser diferenciado do risco do α -quartzo isoladamente. Independente dessa determinação, o controle com base na concentração da poeira respirável de α -quartzo, pelo risco que apresenta, se adota como princípio de prevenção e, uma vez controlada a geração da poeira no nível exigido para o

α -quartzo, posteriormente se avalia também a eficiência do controle do ambiente e da exposição dos trabalhadores aos demais componentes presentes na poeira mineral.

Nesta pesquisa, a importância maior das análises efetuadas sobre a massa cerâmica está relacionada à confirmação da presença da sílica cristalina, na forma do α -quartzo, como mineral predominante, e da não ocorrência de outros polimorfos do quartzo na matéria-prima dos processos. Além disso, o conhecimento obtido sobre a possível presença na poeira originada pela argila de outros minerais (illita, caulinita e esmectita/montmorillonita), que podem alterar a toxicidade e os efeitos das partículas de α -quartzo quando inaladas, conforme apontado no estudo de Love et al. (1999), conduzirá a uma nova abordagem sobre o risco de silicose e de outras doenças associadas à sílica nos processos de fabricação de materiais cerâmicos a partir da argila vermelha. Dessa mesma forma, a identificação na massa cerâmica do óxido de ferro, na forma da hematita, veio representar um fator importante para os estudos sobre os agravos à saúde decorrentes da exposição à poeira nesses processos, como apontam os trabalhos de Reichel, Bauer e Bruckmann (1977), Castranova et al. (1997), Donaldson e Borm (1998) e Fubini (1998).

Os resultados da análise da composição da massa cerâmica e a possibilidade de se encontrarem na poeira respirável os mesmos componentes devem ser considerados quando das conclusões dos achados médicos na avaliação dos efeitos da poeira sobre a saúde, principalmente com base nos estudos dos autores anteriormente citados e nos de LeBouffant e colaboradores (1982) e de Guthrie Jr. (1995, 1997). Nesses estudos, os autores apontam como o hidróxido e o óxido de ferro e os íons de alumínio, presentes na caulinita e na illita, podem atuar na intensidade da resposta biológica ao α -quartzo, reduzindo o seu potencial de inflamação e fibrose, e como os íons de ferro podem potencializar o efeito carcinogênico do quartzo, quando associados às partículas de quartzo em diferentes condições estudadas do ponto de vista toxicológico.

Não cabe neste trabalho, em particular, a discussão dos aspectos toxicológicos da poeira, por extrapolar o seu objetivo. Entende-se, no entanto, que a informação sobre a composição da massa cerâmica, juntamente com a caracterização da presença do α -quartzo na poeira respirável, é a grande contribuição da pesquisa para se buscar o adequado

dimensionamento do risco de silicose apresentado pela poeira dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos, tendo como matéria-prima a argila vermelha.

6.4.1 Composição da massa cerâmica e concentrações de α -quartzo no ar

A determinação do α -quartzo nas massas cerâmicas permitiu confirmar que a argila beneficiada é a principal fonte de origem do α -quartzo respirável presente na poeira dos setores de moagem e recepção de massa e de prensas.

No entanto, pela análise comparativa dos resultados das concentrações de α -quartzo respirável, conforme apresentados na Figura 6.7, com os resultados dos teores de quartzo na massa cerâmica, indicados na Figura 6.8, pode-se afirmar que a concentração de α -quartzo respirável nos setores de moagem e recepção de massa e de prensas, onde o processamento da massa cerâmica é a fonte de geração da poeira respirável, não apresenta relação direta com a composição em massa do quartzo na massa cerâmica processada.

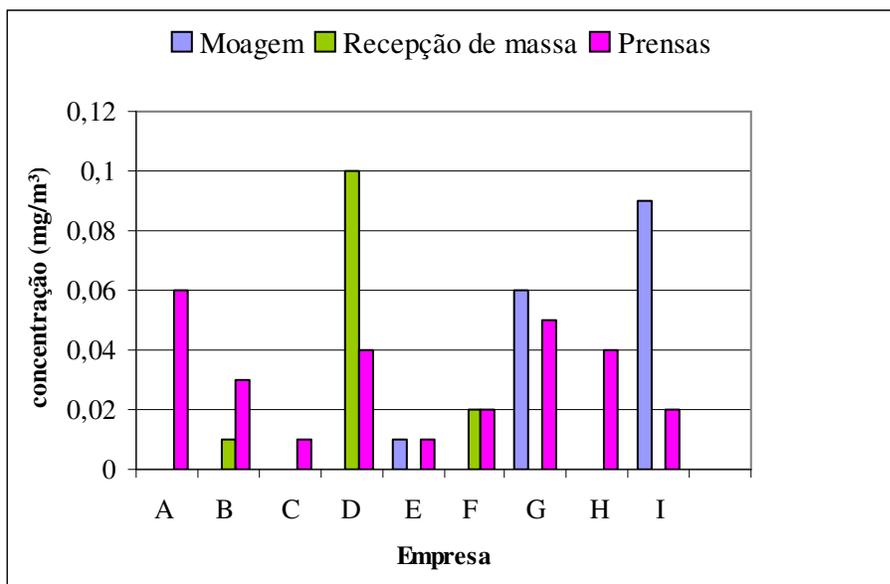


Figura 6.7 – Concentração de α -quartzo respirável nos setores de moagem e recepção de massa e de prensas de cada empresa

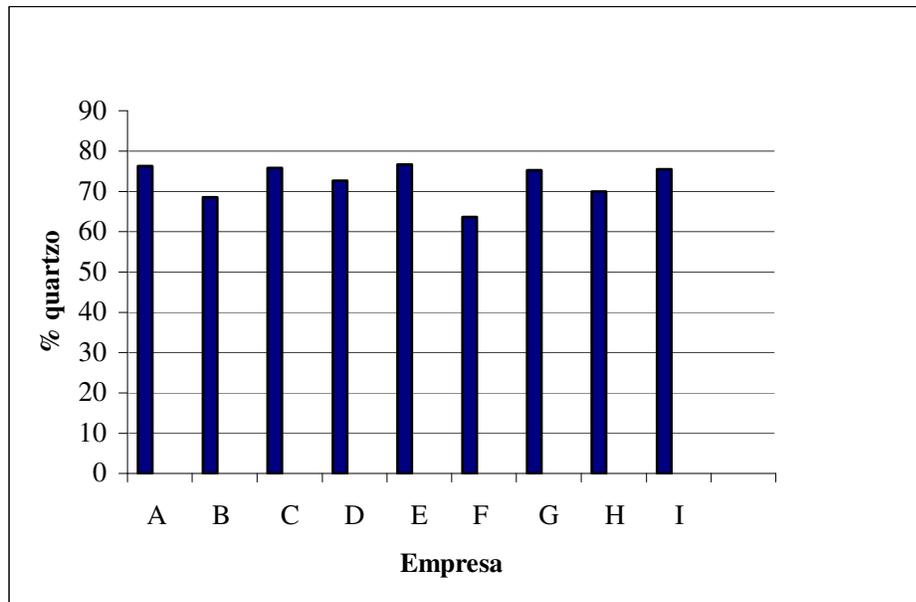


Figura 6.8 – Teores de α -quartzo na massa cerâmica de cada empresa

Os dados obtidos na empresa *E* demonstram claramente a independência dos resultados, ao se observar que a massa cerâmica processada nessa empresa apresenta o teor mais elevado de α -quartzo e a concentração de α -quartzo respirável no ar, tanto no setor de moagem, como no de prensas, é a mais baixa. Na empresa *F*, onde a massa cerâmica apresenta o teor mais baixo de α -quartzo, a concentração média de α -quartzo respirável é mais alta que na empresa *E*. Isso pode ser explicado em função dos diferentes fatores determinantes das características das poeiras, conforme apresentados na seção 3. Dentre eles, o comportamento aerodinâmico das partículas e os mecanismos de deposição, em função do tamanho, da forma, da higroscopicidade e da densidade das mesmas, bem como as características das fontes de geração da poeira e a existência ou inexistência de sistemas de controle nessas fontes, podem alterar, consideravelmente, a composição da poeira, ao longo do tempo, com relação ao material que lhe deu origem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além dos objetivos alcançados com os resultados deste trabalho, entende-se que os dados apresentados possam ter um caráter de orientação para a adoção de medidas de prevenção do risco de exposição à poeira no setor de revestimentos cerâmicos, tais como medidas de engenharia de processo, de ordem administrativa e de proteção respiratória.

A pesquisa realizada indicou, além das características mais relevantes da poeira do processo de fabricação por via seca de materiais cerâmicos para revestimento, que as informações existentes, no momento, sobre as propriedades toxicológicas da poeira da argila vermelha e sobre a ocorrência de pneumoconioses entre os trabalhadores do segmento de placas cerâmicas esmaltadas, não são suficientes para dimensionar o risco de silicose nesse setor. Não são conhecidos dados de exposição à poeira nos processos industriais que permitam definir a dose acumulativa de poeira pelos trabalhadores expostos, bem como indicar a duração da exposição à poeira durante as jornadas de trabalho e o período de tempo decorrido desde a primeira exposição dos trabalhadores ao α -quartzo nos processos industriais, que são fatores importantes para a ocorrência da silicose, conforme aponta o documento “*Health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica*” (NIOSH, 2002).

No entanto, pelas características da poeira identificadas neste trabalho, pelas condições em que os processos de fabricação por via seca de revestimentos cerâmicos vêm sendo realizados, pela análise das massas cerâmicas e com base no estudo documental e bibliográfico efetuado, pode-se concluir o seguinte:

- A exposição à poeira no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos representa um risco ocupacional, como já apontado anteriormente por Buffon (2002) e por Ferrari (2000) e, mais recentemente, pelas orientações formuladas por Oliveira e Maganha (2006).

- A poeira dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos apresenta partículas na fração respirável, conforme definição aceita pela Convenção ACGIH[®]/ISO/CEN, e sílica cristalina na forma do α -quartzo. Não se encontram na poeira respirável das etapas do processo avaliadas outros polimorfos do quartzo.

- A exposição à sílica cristalina respirável nos processos industriais pode levar ao aparecimento de novos casos de silicose ou de outras doenças respiratórias, além dos casos conhecidos de pneumoconioses apontados pelos trabalhos de Capitani (2005) e de Lido (2004).

- A avaliação efetuada nas nove empresas de fabricação de placas cerâmicas esmaltadas, selecionadas neste trabalho, permite estimar a presença no processo industrial de concentrações de α -quartzo respirável entre 0,01 mg/m³ e 0,16 mg/m³.

- Pela avaliação efetuada por etapa do processo de fabricação, verificou-se que o setor de moagem da argila e o setor de preparação de esmaltes e engobe das empresas são os setores com poeira com maior risco de silicose para os trabalhadores, se a exposição às concentrações de α -quartzo encontradas for caracterizada ao longo de toda a jornada semanal de trabalho, uma vez que nesses setores se determinaram concentrações superiores ao valor limite de referência de 0,04 mg/m³ para o α -quartzo.

- A presença na poeira respirável de argilominerais como a illita, a caulinita e a esmectita, identificados pela análise das massas cerâmicas, pode modificar as características toxicológicas das partículas de α -quartzo presentes na poeira, como sugerido por Love e colegas (1999), e diminuir a frequência da ocorrência de anormalidades nas radiografias pulmonares dos trabalhadores da indústria da argila estrutural, como apontado no estudo realizado por Miller e Soutar (2004).

- Os compostos de ferro, na forma de óxido e hidróxido de ferro, presentes na argila da Formação Corumbataí, podem diminuir a fibrogenicidade do quartzo. No entanto, os íons de ferro, quando associados às partículas de quartzo, podem potencializar o seu efeito citotóxico, como documentado, em particular, por Castranova e colaboradores (1997) e por Fubini (1998).

Pelas conclusões apresentadas, se indicam as seguintes recomendações e sugestões de trabalhos futuros:

- Como recomendação primária, que seja observado o limite de exposição ocupacional estabelecido para a presença de poeiras com sílica cristalina na cadeia produtiva dos materiais cerâmicos para revestimento, independentemente das características toxicológicas da argila da Formação Corumbataí, que devem ser estudadas e determinadas em associação com os efeitos sobre a saúde do α -quartzo. A observação do limite de exposição ocupacional, nos ambientes de trabalho, é necessária, uma vez que, teoricamente, poderão ocorrer, a médio e longo prazo, prejuízos à saúde dos trabalhadores do segmento de revestimentos cerâmicos. Em decorrência dos agravos à saúde, poderá haver o comprometimento da própria atividade econômica de fabricação e aplicação dos revestimentos cerâmicos na construção civil.

- Para o dimensionamento do risco ocupacional representado pela poeira dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos são necessárias, como ações futuras, em especial, estudos de caráter epidemiológico, para determinar a prevalência das doenças respiratórias no segmento produtivo, e estudos para caracterização da exposição dos trabalhadores ao α -quartzo e a outros constituintes da poeira respirável, ao longo de suas jornadas de trabalho, perante os limites de exposição ocupacional recomendados, com base na metodologia de avaliação da poeira disponível. Estudos toxicológicos sobre a argila vermelha da Formação Corumbataí poderiam melhor orientar os seus efeitos sobre a saúde das populações expostas e a avaliação do risco de silicose nos processos que utilizam argilas com composição química e mineralógica similar.

- O estudo comparativo entre a aplicação das diferentes técnicas de análise de amostras da poeira proveniente da argila vermelha, por espectrometria no infravermelho e por difratometria de raios-X, utilizada neste trabalho, se caracterizaria de grande importância para efeito do conhecimento sobre as interferências da presença dos compostos de ferro, em particular, e de outros silicatos, nos resultados de determinação da sílica cristalina. Esse estudo poderia embasar os resultados que vêm sendo obtidos pelas empresas de revestimentos cerâmicos, do pólo de Santa Gertrudes, com a análise das amostras de poeira com a técnica da espectrometria de infravermelho, que tem sido mais utilizada, até o presente momento, pela disponibilidade de laboratórios e pelo baixo custo relativo à difração de raios-X. Um trabalho dessa natureza, que

validasse ambas as técnicas analíticas para determinação da sílica cristalina na poeira da argila vermelha, seria de grande interesse, considerando o histórico ambiental exigido pela NR-9 (BRASIL, 1995) e a confiabilidade dos resultados da avaliação da poeira com sílica cristalina. A confiabilidade dos resultados de concentração da poeira nos ambientes de trabalho se caracteriza como fundamental para subsidiar futuros trabalhos de orientação do nexo técnico epidemiológico, na concessão de benefícios pela previdência social, no caso de adoecimento dos trabalhadores pela exposição a poeiras (INSS, 2007).

- Considerando os constituintes dos esmaltes e engobes, apontados por Galesi et al. (2005), Oliveira (2000) e Sanchez (1997), estudos de avaliação de risco devem ser conduzidos, em particular, junto aos coloríficos que preparam e fornecem os insumos para a linha de esmaltação das placas cerâmicas, de forma a conhecer a exposição à poeira nos seus processos e melhor caracterizar qualitativamente os componentes desses insumos, aos quais estão expostos os trabalhadores nos setores de preparação de esmaltes e de engobe das empresas de revestimentos cerâmicos.

- A partir do projeto Corumbataí e do modelo do Protocolo de Intenções: “Implantação do Programa de Prevenção à Poluição” (CETESB, 2006), com seu desenvolvimento iniciado no pólo cerâmico de Santa Gertrudes no ano de 1998, poderiam ser traçadas, também, ações para o controle da poeira no ambiente como um todo, englobando o ocupacional. Como referência poderia ser utilizado o “Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento”, publicado pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (Oliveira; Maganha, 2006), acrescido de medidas de controle específicas, sob a ótica da exposição ocupacional. As medidas de controle deveriam considerar os procedimentos de limpeza das áreas de trabalho e de coleta e descarte de resíduos sólidos, bem como medidas referentes à segregação no espaço dos processos com geração de poeira, medidas individuais de proteção respiratória dos trabalhadores e a aplicação obrigatória da ventilação local exaustora nas fontes secundárias de geração de poeira, bem como o efetivo controle e manutenção dos sistemas de ventilação exaustora aplicados aos equipamentos utilizados nas operações unitárias, ao longo de todo o processo de fabricação de revestimentos cerâmicos.

REFERÊNCIAS

1. ADDISON, J. **Improvements of analysis of mineral components of coal mine dusts**. Edinburgh: Institute of Occupational Medicine, 1991. (IOM Report n. TM/91/10).
2. AGÊNCIA EUROPÉIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO. **Legislação e Normas**. Disponível em: <<http://osha.europa.eu/legislation>>. Acesso em: 07 jul. 2007.
3. ALGRANTI, E. Occupational lung diseases in Brazil. In: BANKS, D. E.; PARKER, J. E. (Eds.). **Occupational lung disease: An international perspective**. London: Chapman & Hall, 1998. p. 105-115.
4. ALGRANTI, E. Epidemiologia das doenças ocupacionais respiratórias no Brasil. In: SILVA, L. C. C. (Editor executivo). **Epidemiologia das doenças respiratórias**. São Paulo: Revinter, 2001. v. I, cap. 3, p. 119-143. (Série Epidemiologia Brasileira).
5. ALGRANTI, E. et al. Patologia respiratória relacionada com o trabalho. In: MENDES, R. (Org.). **Patologia do trabalho**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2003. v. 2, cap. 32, p. 1329-97.
6. ALGRANTI, E. et al. Exposición a sílice y silicosis en el Programa Nacional de Eliminación de Silicosis en Brasil (PNES). **Ciência & Trabajo**, n.11, enero/marzo, p. 1-13, 2004.
7. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH®. **TLVs® Threshold limit values and biological exposure indices for 1986-1987**. Cincinnati, 1985. (update annually).
8. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH®. **1994-1995 Threshold limit values (TLVs™) for chemical substances and physical agents and biological exposure indices (BEIs™)**. Cincinnati, 1993. (update annually).

9. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH®. **2000 TLVs® and BEIs® Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices**. Cincinnati, 2000. (update annually).
10. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS - ACGIH®. **2005 TLVs® e BEIs® - Limites de exposição ocupacional (TLVs®) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs®)**. São Paulo: ABHO, 2005. Tradução de: Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais - ABHO. (atualizada anualmente).
11. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS - ACGIH®. **2006 TLVs® e BEIs® – Limites de exposição ocupacional (TLVs®) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs®)**. São Paulo: ABHO, 2006a. Tradução de: Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais - ABHO. (atualizada anualmente).
12. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS - ACGIH®. Silica, crystalline: α -quartz and cristobalite. In: **Documentation of the threshold limit values for chemical substances**. 7th ed. Cincinnati, 2006b.
13. ANDERSON, C. C. **Collaborative tests of two methods for determining free silica in airborne dusts**. Cincinnati: NIOSH, 1983. 156 p. [DHHS (NIOSH) Publication n. 83-124].
14. ARAÚJO, A.; ROMACHELLI, J. C.; MARTINS, M. Análise crítica do setor de revestimentos cerâmicos no Brasil. Parte I – histórico recente. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 4, p. 29-34, 2001.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-10562: Calibração de vazão, pelo método da bolha de sabão, de bombas de baixa vazão utilizadas na avaliação de agentes químicos no ar**. Rio de Janeiro, 1988. 10 p.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **MB-3422: Agentes químicos no ar – Coleta de aerodispersóides por filtração**. Rio de Janeiro, 1991. 22 p.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-13816: Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1997. 4 p.

18. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO – ANFACER. **Revestimento cerâmico – Panorama 2007** (portfólio ANFACER), março 2007. Disponível em: <www.anfacer.com.br>. Acesso em: 07 jul. 2007.
19. ASSOCIAÇÃO PAULISTA DAS CERÂMICAS PARA REVESTIMENTO – ASPACER. Amadeu Paraluppi: O braço que ajudou a construir o império cerâmico. **Revista Entre Aspas**, n. 42, p. 62-64, novembro/dezembro, 2006.
20. ASSOCIAÇÃO PAULISTA DAS CERÂMICAS PARA REVESTIMENTO – ASPACER. **Estatísticas**. Disponível em: <www.aspacer.com.br/estatisticas.html>. Acesso em: 07 jul. 2007.
21. BAGATIN, E. et al. Ocorrência de silicose pulmonar na região de Campinas-SP. **J. Pneumol.**, v. 21, n.1, p. 17-26, 1995.
22. BAGATIN, E. **Avaliação clínica, radiológica e da função pulmonar em trabalhadores expostos à poeira de sílica**. 1987. 168 f. Tese (Doutorado em Medicina). Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1988.
23. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. Departamento de bens de consumo. **Panorama do setor de revestimentos cerâmicos**. set. 2006. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/rs_rev_ceramicos.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2006.
24. BARTLEY, D. L. et al. Respirable aerosol sampler performance testing. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 55, n. 11, p. 1036-1046, 1994, 1940-2003. Bimensal.
25. BHASKAR, R.; LI, J.; XU, L. A comparative study of particle size dependency of IR and XRD methods for quartz analysis. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 55, n. 7, p. 605-609, 1994, 1940-2003. Bimensal.
26. BETTINGIERI, J. C. As origens da indústria cerâmica em São Paulo. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 3, p. 19-23, 2005.

27. BOLSAITIS, P. P.; WALLACE, W. E. The structure of silica surfaces in relation to cytotoxicity. In: CASTRANOVA, V., VALLYATHAN, V., WAALLACE, W. E. (Eds.). **Silica and silica-induced lung diseases**. Boca Raton: CRS Press, 1996.
28. BRASIL. Ministério do Trabalho. Gabinete do Ministro. Portaria n. 3214, de 08 de junho de 1978. Norma Regulamentadora n.15: NR-15 - Atividades e operações insalúbres. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 jul. 1978. Seção I, Parte I, p.10423. Suplemento.
29. BRASIL. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho. Portaria n. 25, de 29 de dezembro de 1994. Norma Regulamentadora n. 9: NR-9 - Programa de prevenção de riscos ambientais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 fev. 1995. Seção I, p. 1987. Republicada.
30. BRASIL. Ministério da Previdência Social. **Anuário estatístico da previdência social**. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.previdenciasocial.gov.br/aeps2005/14_01_20_01.asp>. Acesso em: 20 set. 2006.
31. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral – SGM. **Anuário estatístico - Setor de transformação de não metálicos**. Brasília: DTTM/SGM, set. 2006. 60 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 02 fev. 2007.
32. BUFFON, A. G. M. **Aspectos ocupacionais da indústria de revestimento cerâmico do pólo de Santa Gertrudes, SP: avaliação das condições de trabalho e sugestões para a melhoria**. 2002. 40 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Faculdade de Engenharia de Agrimensura de Pirassununga, Pirassununga, 2002.
33. BRIEF, R. S.; SCALA, R. A. Occupational exposure limits for novel work schedules. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 36, n. 6, p. 467-469, 1975, 1940-2003. Bimensal.
34. CASTRANOVA, V.; DALAI, N. S.; VALLYATHAN, V. Role of surface free radicals in the pathogenicity of silicosis. In: CASTRANOVA, V., VALLYATHAN, V., WAALLACE, W. E. (Eds.). **Silica and silica-induced lung diseases**. Boca Raton: CRS Press, 1996.

35. CASTRANOVA, V. et al. Augmentation of pulmonary reactions to quartz inhalation by trace amounts of iron-containing particles. **Environ. Health Persp.**, v. 105, supplement n. 5, p.1319-1324, 1997.
36. COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Projeto Corumbataí cerâmicas. Negociação de conflitos ambientais com o envolvimento de segmentos sociais e o pólo cerâmico de Santa Gertrudes.** Santa Gertrudes: ASPACER, out. 2006. 136 p.
37. COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION -CEN. **Workplace atmospheres: size fraction definitions for measurements of airborne particles in the workplaces.** European Standard EN-481. Brussels, 1993. 13 p.
38. DAVID, A. Neumoconiosis: Definition. In: **Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.** 3. ed. Geneva: OIT, 1998. v. I, cap.10, p. 10.36-10.37. Disponível em: <<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/>>. Acesso em: 10 out. 2006.
39. DE CAPITANI, E. A silicose e sua ocorrência entre os trabalhadores do segmento de materiais de revestimento. In: JORNADA SOBRE A SÍLICA E SILICOSE NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE SANTA GERTRUDES, 2005, Santa Gertrudes. **Ata...** São Paulo: FUNDACENTRO, 2005. (Apresentação oral).
40. DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas. Uma introdução.** 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992. 727 p. Tradução de: Carlos António Regêncio Macedo.
41. DONALDSON, K.; BORM, P. J. A. The quartz hazard: a variable entity. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 42, n. 5, p. 287-294, 1998.
42. DUNN, P. J. New mineral names. **American Mineralogist**, v. 70, p. 874, 1985.
43. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Air quality criteria for particulate matter.** Washington: EPA, oct. 2004. v.1. 900 p. (National ambient air quality standards – NAAQS). Disponível em: <<http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/partmatt.cfm>>. Acesso em: 5 nov. 2006.

44. EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Center. **Integrated pollution prevention and control reference document on best available techniques in the ceramic manufacturing industry**. Seville: IPTS, December, 2006. 230 p. (MB/FS/EIPPCB/CER-BREF-final). Disponível em: <<http://eippcb.jrc.es>>. Acesso em: 08 jul.2007.
45. FEDERAÇÃO DOS TRABALHADORES NAS INDÚSTRIAS DA CONSTRUÇÃO, DO MOBILIÁRIO E MONTAGEM INDUSTRIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – FETICOM. **Relatórios para a Procuradoria Regional do Trabalho da 15ª Região**. São Paulo, 1997.
46. FEDOTOV, I. A. The ILO/WHO global programme for the elimination of silicosis (GPES). **Afr. Newslett. on Occup. Health and Safety**, v. 15, n. 3, p. 56-58, 2005.
47. FERRARI, K. R. **Aspectos ambientais do processo de fabricação de placas de revestimentos cerâmicos (via úmida), com ênfase nos efluentes líquidos**. 2000. 166 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
48. FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS – FINEP. Diretório da Pesquisa Privada. Cerâmica – Revestimentos. **Relatório setorial preliminar**. 2004. Disponível em: <www.finep.gov.br/portaldpp/>. Acesso em: 25 fev. 2006.
49. FÓRUM INTERINSTITUCIONAL PERMANENTE DA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS, Santa Gertrudes, ago. 2005; Campinas; dez. 2005, Santa Gertrudes, mar. 2006, Piracicaba, jun. 2006; Campinas, set. 2006; Campinas, nov. 2006. **Atas...** São Paulo: FUNDACENTRO, 2005, 2006.
50. FRIEDLANDER, S. K. The characterization of aerosols distributed with respect to size and chemical composition. **J. Aerosol Sci.**, v.1, n. 4, p. 295-307, 1970.
51. FUBINI, B. et al. Physicochemical properties of crystalline silica dusts and their possible implication in various biological responses. **Scand. J. Work Environ. Health**, v. 21, n. 2, p. 9-14, 1995.
52. FUBINI, B. Surface reactivity in the pathogenic response to particulates. **Environ. Health Persp.**, v. 105, supplement n. 5, p. 1013-1020, 1997.
53. FUBINI, B. Surface chemistry and quartz hazard. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 42, n. 8, p. 521-530, 1998.

54. FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO - FUNDACENTRO. **Análise gravimétrica de aerodispersóides coletados sobre filtros de membrana (Método de ensaio). NHO-03.** São Paulo, 2001. 34 p. (Normas de Higiene Ocupacional).
55. FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO - FUNDACENTRO. **Calibração de bombas de amostragem individual pelo método da bolha de sabão. (Procedimento técnico). NHO-07.** São Paulo, 2002. 30 p. (Normas de Higiene Ocupacional).
56. FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO - FUNDACENTRO. **Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho. (Procedimento técnico). NHO-08.** São Paulo, 2007. No prelo. (Normas de Higiene Ocupacional).
57. FUNDAÇÃO SEADE. **Anuário estatístico do Estado de São Paulo, 2003.** Disponível em: <www.seade.gov.br/produtos/anuario/2003/index.php>. Acesso em: 10 jul. 2007.
58. GALESI, D. F. et al. Caracterização das principais argilas utilizadas em engobes para revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v.10, n.3, p.7-12, 2005.
59. GAMBLE, J. F. Silicate pneumoconiose. In: MERCHANT, J. A. (Ed.). **Occupational respiratory diseases.** Washington: DHHS (NIOSH) Publication n. 86-102, 1986. Section II, p.243-285.
60. GANA SOTO, J. M. O. et al. Levantamento do risco potencial de silicose: estudo realizado em indústrias cerâmicas do município de Pedreira, São Paulo. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 9, n. 33, p. 71-108, 1981.
61. GASPAR JÚNIOR, L. A. **Estudo mineralógico, químico e textural das rochas sedimentares da formação corumbataí (Jazida Peruchi) e suas implicações como matéria prima para cerâmica vermelha.** 1999. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.
62. GASPAR JÚNIOR, L. A. et al. Caracterização das argilas da mina Sartori (Rio Claro – SP) para otimização do seu uso na indústria de revestimentos. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 3, p. 44-49, 2001.

63. GOELZER, B. I. F.; COX, J. W. **A higiene do trabalho na construção civil**. 1. ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 1974. 48 p. (Série técnica, H4).
64. GOELZER, B. I. F.; HANDAR, Z. **Programa Nacional de Eliminação da Silicose**, 2001. 17 p. Documento de referência. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/SES/programas.asp?D=SES>> Acesso em: 22 out. 2006.
65. GUTHRIE JR., G. D. Mineralogical factors affect the biological activity of crystalline silica. **Appl. Occup. Environ. Hyg.**, v. 10, n.12, p. 1126-1131, 1995, 1986-2003. Mensal.
66. GUTHRIE JR., G. D. Mineral properties and their contributions to particle toxicity. **Environ. Health Persp.**, n. 105, supplement n. 5, p. 1003-1011, 1997.
67. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE – HSE. **General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust. MDHS 14/3**. London, 2000. (Methods for the Determination of Hazards Substances).
68. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE – HSE. **Crystalline silica in respirable airborne dusts. Direct-on-filter analyses by infrared spectroscopy and X-ray diffraction. MDHS 101**. London, 2005. (Methods for the Determination of Hazards Substances).
69. HEARL, F. J. Identification, monitoring and control of dust exposures. In: BANKS, D. E.; PARKER, J. E. (Eds.). **Occupational lung disease: An international perspective**. London: Chapman & Hall, 1998. p. 35-52.
70. INDUSTRIAL MINERALS ASSOCIATION - IMA. **Occupational exposure limits in mg/m³ –respirable fraction in EU 25 and Norway & Switzerland**. In: IMA-Europe homepage, july 2006. Disponível em: <<http://www.ima-eu.org/OELTABLEJULY06.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2006.
71. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Comissão Nacional de Classificação (CONCLA). **Classificação nacional de atividades econômicas**, versão 2.0. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 maio 2007.
72. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. **Procedimento analítico interno DRX (CMQ-LAQ-PE-QI-004)**. São Paulo, 1999. Não publicado.

73. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HYGIENE NEL TRABAJO – INSHT
MTA/MA-014/A88: Determinación de materia particulada (total y fracción respirable) en aire - Método gravimétrico, 1988. Disponível em:
<<http://www.mtas.es/insht/MTA/MTA.htm>>. Acesso em: 20 out. 2006.
74. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HYGIENE NEL TRABAJO – INSHT
MTA/MA-036/A00: Determinación de cuarzo en aire - Método del filtro de membrana / Difracción de rayos X, 2000. Disponível em:
<<http://www.mtas.es/insht/MTA/MTA.htm>>. Acesso em: 20 out. 2006.
75. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HYGIENE NEL TRABAJO – INSHT.
MTA/MA - 057/A04: Determinación de sílice libre cristalina en materia particulada (fracción respirable) en aire. Método del filtro de membrana / Espectrofotometría de infrarrojos, 2004.
Disponível em: <<http://www.mtas.es/insht/MTA/MTA.htm>>. Acesso em: 20 out. 2006.
76. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURO SOCIAL - INSS. Instrução Normativa INSS/DC n. 99, de 5 de dezembro de 2003. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 dez. 2003. Revogada.
77. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURO SOCIAL - INSS. Instrução Normativa INSS/PR n. 11, de 20 de setembro de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 set. 2006. Seção 1, p. 42. Com alterações.
78. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURO SOCIAL - INSS. Instrução Normativa INSS/PR n. 16, de 27 de março de 2007. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 mar. 2007. Seção 1, p. 40.
79. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Silica and some silicates**. Lyon: 1987. 289 p. (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, v. 42).
80. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Silica and some silicates, coal dust and para-aramid fibrils**. Lyon: 1997. 506 p. (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, v. 68).
81. INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA - ICDD. Joint Committee on Powder Diffraction Standards – JCPDS. **Powder diffraction file search manual - Hanawalt method, inorganic**. Swarthmore, 1978. (Publication SMH-28).

82. INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION - ILO. **ILO/WHO Global programme for the elimination of silicosis**. Information Note JCOH/XIII/IN.5. (Thirteenth session of the joint ILO/WHO Committee on Occupational Health). Geneva, dec. 2003.
83. INTERNATIONAL MINERALOGICAL ASSOCIATION. Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification – IMA/CNMNC. **The official IMA-CNMNC list of mineral names**. Disponível em: <<http://www.geo.vu.nl/users/ima-cnmmn>>. Acesso em: 12 jul. 2007.
84. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION– ISO. **Air quality: particle size fraction definitions for health-related sampling**. ISO Standard 7708. Geneva, 1995. 9 p.
85. JCPDS – INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA[®]. **PCPDFWIN software**. Version 1.30, 1997.
86. KAUFFER, E. et al. Comparison of direct (X-ray diffraction and infrared spectrophotometry) and indirect (infrared spectrophotometry) methods for the analysis of α -quartz in airborne dusts. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 49, n. 8, p. 661-671, 2005.
87. KIECKBUSCH, R. E.; LOPES, F. P. **Diagnóstico setorial da cerâmica para revestimento catarinense**. Parceria Instituto Euvaldo Lodi de Santa Catarina e FINEP. Florianópolis, 2005. 52 p.
88. KENNY, L. C. The international conventions for health-related sampling of aerosols – a review of current status and future evolution. **Appl. Occup. Environ. Hyg.**, v. 15, n. 1, p. 68-71, 2000, 1986-2003. Mensal.
89. LANGER, A. M. Characterization and measurement of the environment: mineralogy. In: MERCHANT, J. A. (Ed.). **Occupational respiratory diseases**. Section I, p. 3-40. Washington: NIOSH, 1986. [DHHS (NIOSH) Publication n. 86-102].
90. LÉBOUFFANT et al. Effect of impurities and associated minerals on quartz toxicity. **Annals of Occupational Hygiene**, v.26, n. 5, p. 625-634, 1982.
91. LIDE, D. R.; FREDERIKSE, H. P. R. (Eds.). Cristobalite. In: **Handbook of chemistry and physics**. 77th ed. Boca Raton: CRS Press, 1996.

92. LIDO, A. V. **Pneumoconioses: casuística de 25 anos no atendimento ambulatorial do Hospital das Clínicas da UNICAMP, de 1978-2003, em Campinas (SP)**. 2004. 155 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) - Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
93. LIPPMANN, M. Respiratory tract deposition and clearance of aerosols. In: LEE, S.D. et al. **Aerosols: research, risk assessment and control strategies**. Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1986. p. 43-57.
94. LEIDEL, N. A.; BUSCH, K. A.; LYNCH, J. R. **Occupational exposure sampling strategy manual**. Cincinnati: NIOSH, 1977. 148 p. [DHEW (NIOSH) Publication n. 77-173].
95. LOVE, R. G. et al. Risks of respiratory disease in the heavy clay industry. **Occup. Environ. Med.**, v. 56, n. 2, p. 124-133, 1999.
96. MACHADO, S. M. **Dinâmica dos arranjos produtivos locais: um estudo de caso em Santa Gertrudes, a nova capital da cerâmica brasileira**. 2003. 145 f. ed. rev. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
97. MADSEN, F. A.; ROSE, M. C.; CEE, R.: Review of quartz analytical methodologies: present and future needs. **Appl. Occup. Environ. Hyg.**, v. 10, n. 12, p. 991-1002, 1995, 1986-2003. Mensal.
98. MENDES, R. Estudo epidemiológico sobre a silicose pulmonar na região sudeste do Brasil, através de inquérito em pacientes internados em hospitais de tisiologia. **Revista de Saúde Pública**, v. 13, p. 7-19, 1979.
99. MENDES, R. et al. Doenças respiratórias ocupacionais. In: TARANTINO, A. B. (Org.). **Doenças pulmonares**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. cap. 45, p. 827-838.
100. MENDES, R. **Comunicação pessoal**, 2007.
101. MILLER, B. G.; SOUTAR, C. A. **Comparison of observed radiological abnormalities in the heavy clay industry with risks predicted by exposure-response relationships from high-potency quartz exposures at a Scottish colliery**. Edinburgh: Institute of Occupational Medicine, 2004. (Research Report TM/04/02). Disponível em: <www.iom-world.org/pubs/IOM_TM0402.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2006.

102. MINERVINO, D. M. et al. A silicose pulmonar nas indústrias de São Paulo. In: CONGRESSO AMERICANO DE MEDICINA DO TRABALHO, 1964, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABPA, 1964. p. 268–280.
103. MOREIRA LIMA, M. M. T.; CAMARINI, G. Método de determinação da sílica cristalina na poeira dos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 4, p. 21-27, 2006.
104. MORRONE, L. C. Epidemiologia da silicose no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 8, n. 31, p. 6-25; v. 8, n. 32, p. 28-30 (cont.), 1980.
105. MOTTA, J. F. M.; CABRAL JUNIOR, M.; TANNO, L. C. Panorama das matérias-primas utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos: desafios do setor produtivo. **Cerâmica Industrial**, v. 3, n. 4, p. 30-38, 1998.
106. MOTTA, J. F. M. et al. Características do pólo de revestimentos cerâmicos de Santa Gertrudes – SP, com ênfase na produção de argilas. **Cerâmica Industrial**, v. 9, n. 1, p. 01-06, 2004.
107. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH. Particulates not otherwise regulated, total. Method 0500, issue 2. In: SCHELECH, P. C.; O’CONNOR, P. F. (Eds.). **NIOSH Manual of analytical methods (NMAM®)**. 4th rev. ed., Cincinnati, 1994. [DHHS (NIOSH) Publication n. 94-113].
108. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH. **Health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica**. Cincinnati, 2002. [DHHS (NIOSH) Publication n. 2002-129].
109. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH. Silica, Crystalline, by XRD (filter deposition). Method 7500, issue 4. In: SCHELECH, P. C.; O’CONNOR, P. F. (Eds.). **NIOSH Manual of analytical methods (NMAM®)**. 4th rev. ed., 3rd suppl. 2003-154. Cincinnati, 2003a. [DHHS (NIOSH) Publication n. 94-113].
110. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH. Silica, Crystalline, by IR (KBr pellet). Method 7602, issue 3. In: SCHELECH, P. C.; O’CONNOR, P. F. (Eds.). **NIOSH Manual of analytical methods (NMAM®)**. 4th rev. ed., 3rd suppl. 2003-154. Cincinnati, 2003b. [DHHS (NIOSH) Publication n. 94-113].

111. NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY - NIST. **Standard reference material 1878a, respirable alpha quartz**. NIST Certificate of Analysis. Washington, 1999.
112. NOGUEIRA, D. P. et al. Ocorrência de silicose entre trabalhadores da indústria cerâmica da cidade de Jundiaí (SP). **Revista de Saúde Pública**, v. 15, p. 273-82, 1981.
113. OLIVEIRA, J. I. DE. **Prevalência da silicose entre os trabalhadores das indústrias cerâmicas do município de Pedreira-SP**. 1998. 107 f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) - Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
114. OLIVEIRA, A. P. N. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 6, p. 37-47, 2000.
115. OLIVEIRA, M. C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento**. São Paulo: CETESB, 2006. 84 p. (Série P + L). Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 07 jul. 2007.
116. PARKERS, W. R. **Occupational lung diseases**. 2nd ed. London: Butterworth, 1982. 529 p.
117. PAUSTENBACH, D. J. Pharmacokinetics and unusual work schedules. In: HARRIS, R. L. (Ed.). **Patty's industrial hygiene**. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. v. 3, cap. 40, p. 1787-1901.
118. PHALEN, R. F. Introduction and recommendations. In: **Particle size-selective sampling in the workplace**. Cincinnati: ACGIH[®], 1985.
119. PICKARD, K. J.; WALKER, R. F.; WEST, N. G. A comparison of X-ray diffraction and infrared spectrophotometric methods for the analysis of α - quartz in airborne dusts. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 29, n. 2, p. 149-167, 1985.
120. RAMAZZINI, B. **As doenças dos trabalhadores**. 3. ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 2000. 325 p. Tradução de: Raimundo Estrêla. (Título original: *De Morbis Artificum Diatriba*).

121. RAMOS, N. A. FORMOSO, M. L. L. **Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro, 1975. (Petrobrás/CENPES, publicação n. 9).
122. REICHEL, G.; BAUER, H. D.; BRUCKMANN, E. The action of quartz in the presence of iron hydroxides in the human lung. In: WALTON, W.H. (ed). **Inhaled particles IV**. Oxford: Pergamon Press, 1977. v. 2, p. 403-411.
123. RIBEIRO, F. S. N. **Exposição ocupacional à sílica no Brasil: tendência temporal entre 1985 e 2001**. 2003. 91 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
124. RIBEIRO, H. P.; KOGA, R. K.; SANTOS, R. Fisiopatologia da silicose em ceramistas. Estudo de 101 casos. **Jornal de Pneumologia**, v. 6, n. 3, p. 121-128, 1980.
125. RUSSO, M. et al. **Local sustainability and competitiveness: the case of the ceramic tile industry**. Project for the European Foundation for the improvement of living and working conditions, 1994. (EF/98/32/EM). Disponível em: <<http://www.eurofound.eu.int/publications/htmlfiles/ef9832.htm>>. Acesso em: 10 out. 2006.
126. SAAD, I. F. S.; GIAMPAOLI, E. **Comunicação pessoal**, 2006.
127. SANCHEZ, E. Matérias-primas para a fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 3-4, n. 2, p. 32-40, 1997.
128. SANTOS, A. M. A. et al. Determinação quantitativa de sílica livre cristalizada por difração de raios-X. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 17, n. 65, p. 55-59, 1989.
129. SANTOS, A. M. A. **Exposição ocupacional a poeiras em marmorarias: tamanhos de partículas característicos**. 2005. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
130. SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® software**. Version 9.1.3. Cary: SAS International, 2002-2003.

131. SENNA, J. A. **Caracterização de argilas de utilização na indústria cerâmica por espectroscopia de refletância**. 2003. 221 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
132. SEZZI, G. Produção e consumo mundial de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 5, p. 20-28, 2002.
133. SODERHOLM, S. C. Proposed international conventions for particle size-selective sampling. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 33, n. 3, p. 301-320, 1989.
134. SOUTO, D. F.; TAVEIRA, J. M. M. **Relatório sobre as condições dos ambientes de trabalho na fábrica de azulejos da firma “Klabin Irmãos & Cia”**. Niterói: Laboratório de Higiene Industrial do Serviço Especial de Saúde Pública – Secretaria de Saúde e Assistência do Estado do Rio de Janeiro, 1958.
135. SOUTO, D. F.; TAVEIRA, J. M. M. Estudo das condições de trabalho em uma fábrica de azulejos. **Medicina e Engenharia do Trabalho**, v. 6, n. 4, p. 5-13, 1960.
136. SOUZA SANTOS, P. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras**. São Paulo: Edgard Blücher, 1975. v. 1, p. 1-17.
137. STACEY, P. et al. The performance of laboratories analyzing α -quartz in the workplace analysis scheme for proficiency (WASP). **Annals of Occupational Hygiene**, v. 47, n. 4, p. 269-277, 2003.
138. TEIXEIRA, M. M. et al. Norma para avaliação da exposição ocupacional a aerodispersóides (NHT/02 A/E). **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 13, n. 51, p. 64-68, 1985.
139. TORLONI, M. Limite de exposição para poeiras contendo sílica. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS, 10, 2003, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: ABHO, 2003.
140. VALLYATHAN, V. et al. Freshly fractured quartz inhalation leads to enhanced lung injury and inflammation. Potential role of free radicals. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 152, n. 3, p. 1003-1009, 1995.

141. WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Hazard prevention and control in the work environment: airborne dust.** Prevention and control exchange (PACE). Geneva, 1999. (Protection of the Human Environment Occupational and Environmental Health Series. WHO/SDE/OEH/99.14.).

142. ZANARDO, A. **Pesquisa geológica e de matérias-primas cerâmicas do centro nordeste do Estado de São Paulo e vizinhanças: sistematização crítica da produção técnico-científica.** 2003. 283 f. Tese (Livre docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

143. ZISKIND, M.; JONES, R. N.; WEIL, H. Silicosis. **American Review of Respiratory Disease**, v. 113, p. 643-665, 1976. (sem número).

ANEXO

Resultados da análise quantitativa estimada da composição mineralógica da massa cerâmica das empresas

Tabela A1 – Massa cerâmica da empresa A

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant.(%)
1	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		11	15	881	0,58
2	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Kaolinite-1Md		13	19	785	3,49
3	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	16	18	763	76,31
4	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	12	15	103	3,72
5	19-1184	NaAl Si ₃ O ₈	Albite, ordered	I	76	147	24	7,50
6	26-0911	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	Illite-2M#1	I	18	18	238	8,40

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A2 – Massa cerâmica da empresa B

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant.(%)
1	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Kaolinite-1Md		15	19	915	2,43
2	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	15	18	993	68,61
5	09-0466	NaAl Si ₃ O ₈	Albite, ordered	*	34	45	939	12,26
4	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	11	15	990	3,21
5	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		9	15	31	3,96
6	26-0911	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	Illite-2M#1	I	15	18	151	9,52

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A3 – Massa cerâmica da empresa C

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant.(%)
1	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	16	18	761	75,78
2	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	11	15	105	3,23
3	19-1184	NaAl Si ₃ O ₈	Albite, ordered	I	82	147	66	8,29
4	07-0078	(Mg, Fe, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Clinochlore-1M#I#b, ferrian		12	24	19	2,90
5	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		12	15	11	1,87
6	26-0911	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	Illite-2M#1	I	17	18	121	7,94

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A4 – Massa cerâmica da empresa D

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant. (%)
1	09-0478	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈	Anorthoclase, disordered	I	23	30	838	4,83
2	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Kaolinite-1Md		17	19	954	2,60
3	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	14	18	963	72,63
4	07-0042	(K, Na)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si ₃ , 1Al _{0,9}) O ₁₀ (OH) ₂	Muscovite-3T	I	20	28	919	8,36
5	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	12	15	991	3,97
6	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		9	15	139	3,84
7	19-1184	NaAl Si ₃ O ₈	Albite, ordered	I	67	147	38	3,36
8	07-0078	(Mg, Fe, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Clinochlore-1M#I#b, ferrian		9	24	16	0,40

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A5 – Massa cerâmica da empresa E

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant. (%)
1	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Kaolinite-1Md		12	19	700	-0,57
2	09-0478	(Na, K) (Si ₃ Al) O ₈	Anorthoclase, disordered	I	23	30	971	7,37
3	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	14	18	973	77,53
4	07-0042	(K, Na)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si ₃ , 1Al _{0,9}) O ₁₀ (OH) ₂	Muscovite-3T	I	19	28	956	7,09
5	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	11	15	990	1,99
6	09-0466	NaAl Si ₃ O ₈	Albite, ordered	*	31	45	909	0,37
7	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		11	15	121	3,50
8	16-0362	(Mg, Fe, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Clinochlore-1M#I#a, ferrian		7	22	1	2,72

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A6 – Massa cerâmica da empresa F

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant. (%)
1	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	14	18	973	63,67
2	05-0586	CaCO ₃	Calcite, syn	*	12	19	947	14,37
3	09-0466	NaAl Si ₃ O ₈	Albite, ordered	*	36	45	949	12,64
4	07-0042	(K, Na)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si ₃ , 1Al _{0,9}) O ₁₀ (OH) ₂	Muscovite-3T	I	21	28	925	3,67
5	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	11	15	931	2,85
6	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		11	15	928	2,28
7	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Kaolinite-1Md		14	19	908	0,53

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A7 – Massa cerâmica da empresa G

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant.(%)
1	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	16	18	525	75,16
2	07-0042	(K, Na)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si ₃ , 1Al _{0,9}) O ₁₀ (OH) ₂	Muscovite-3T	I	15	28	166	6,38
3	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		9	15	126	4,23
4	41-1480	(Na, Ca)Al(Si, Al) ₃ O ₈	Albite, calcian, ordered	I	35	63	41	11,55
5	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	8	15	18	2,67

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A8 – Massa cerâmica da empresa H

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant.(%)
1	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Kaolinite-1Md		14	19	791	2,29
2	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	14	18	963	70,02
3	09-0466	Na Al Si ₃ O ₈	Albite, ordered	*	32	45	915	10,96
4	07-0042	(K, Na)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si ₃ , 1Al _{0,9}) O ₁₀ (OH) ₂	Muscovite-3T	I	20	28	962	8,59
5	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	11	15	987	3,36
6	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		11	15	67	4,78

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality

Tabela A9 – Massa cerâmica da empresa I

JCPDS card list								
N°	Card N°	Chemical formula	Mineral name	Q	U	S	Reli.	Quant.(%)
1	33-1161	SiO ₂	Quartz, syn	*	15	18	975	75,49
2	09-0466	Na Al Si ₃ O ₈	Albite, ordered	*	32	45	931	9,92
3	06-0263	K, Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	Muscovite-2M#1	I	37	60	891	7,16
4	13-0135	CaO.2 (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ A4H ₂ O	Montmorillonite-15A		12	15	947	4,70
5	33-0664	Fe ₂ O ₃	Hematite, syn	*	8	15	941	2,74

FONTE: IPT/SP

NOTAS: Q = quality mark; U = unknown sample; S = standard; Reli = reliability factor; (*) = good quality; I = intermediary quality