

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

Alcinéa Meigikos dos Anjos Santos

**Exposição Ocupacional a Poeiras em Marmorarias: Tamanhos de Partículas
Características**

**Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade
Federal de Minas Gerais**

Área de concentração: Tecnologia Mineral
Orientador: Prof. Raul Zanoni Lopes Caçado

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
Março de 2005

*Aos trabalhadores de marmorarias que adoecem e morrem
para realizar as obras da vaidade humana.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram oferecidas nesse período de aprendizado e desenvolvimento e aos amigos especiais que me acompanharam e me iluminaram nos momentos de indecisão.

Ao meu orientador, Prof. *Raul Zanoni Lopes Cançado*, pela confiança em minha capacidade de realização e pelo apoio durante a elaboração deste trabalho.

À *FUNDACENTRO* que, por meio de seus projetos de desenvolvimento de conhecimentos na área de saúde do trabalhador, possibilitou a realização deste trabalho.

Ao *Carlos Sérgio da Silva* pelo incentivo, carinho e esforço pessoal para a montagem de toda a infra-estrutura que deu suporte ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas participantes do Projeto Marmoristas, *Dr. Jorge Ussier* e representantes dos *Centros de Referência em Saúde do Trabalhador*, por dividirem seus conhecimentos sobre as condições de trabalho nesse setor.

Às minhas queridas amigas e companheiras, *Norma Conceição do Amaral* e *Leila Cristina Alves Lima*. Sem a colaboração inestimável, o capricho e a dedicação dessas verdadeiras jóias não haveria credibilidade suficiente nos trabalhos de laboratório e o árduo trabalho de campo não seria possível.

Ao Sr. *Guilherme Perez Diaz*, pelo cuidado especial com a calibração e a manutenção das bombas de amostragem individual destinadas especificamente ao meu estudo.

Ao *José Geraldo Aguiar*, colega estimado da *FUNDACENTRO/ES*, que, com seu profundo conhecimento sobre a mineração de rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo, facilitou acessos e apresentou em locos o início do processo produtivo.

Ao *Lênio Sérgio Amaral*, colega estimado da FUNDACENTRO/MG, que cedeu os primeiros impactadores virtuais para que os trabalhos de campo pudessem ser iniciados como planejado.

Ao meu irmão *Roberto Meigikos* pelas críticas, sugestões e apoio que contribuíram na organização de minhas idéias, acalmaram minhas dúvidas e, conseqüentemente, melhoraram a redação desta tese.

À minha cunhada *Inês Eduvirges dos Santos* por sua cuidadosa revisão.

À *Teresa Nathan* que, logo se prontificou a ajudar, quando soube do tamanho do empreendimento.

À *Sandra Cristina E.M.Teixeira* por sua amizade, experiência e colaboração nas análises por microscopia eletrônica de varredura na UFMG.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO -----	1
2. OBJETIVOS -----	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -----	6
3.1 Rochas -----	7
3.1.1 Rochas ígneas ou magmáticas -----	8
3.1.2 Rochas sedimentares -----	9
3.1.3 Rochas metamórficas -----	9
3.2 Rochas Ornamentais -----	10
3.2.1 Materiais utilizados como rochas ornamentais -----	11
3.2.2 Processo produtivo -----	15
3.2.3 Marmorarias -----	16
3.2.4 Panorama econômico do setor de rochas ornamentais -----	17
3.2.5 Principais fontes produtoras nacionais -----	20
3.2.6 Marmorarias da cidade de São Paulo -----	22
3.3 Poeiras: Aspectos de Saúde Ocupacional -----	24
3.3.1 Propriedades mineralógicas e químicas das poeiras -----	25
3.3.2 Geração e dispersão da poeira -----	26
3.3.3 A importância do tamanho das partículas -----	27
3.3.4 Mecanismos de deposição das partículas -----	29
3.3.5 Penetração e deposição das partículas no trato respiratório humano ----	30
3.3.6 Mecanismos de limpeza das partículas do trato respiratório-----	32
3.3.7 Convenções para amostragem de poeira -----	34
3.4 Sílica -----	39
3.4.1 Poeira contendo sílica livre cristalina -----	41
3.4.2 Sílica nas rochas ornamentais -----	42
3.5 Silicose -----	43
3.5.1 Tipos de silicose -----	44

3.5.2 Outras doenças associadas com a exposição à sílica -----	45
3.5.3 Câncer de pulmão -----	46
3.5.4 Estudos envolvendo a exposição ocupacional à sílica em trabalhos com rochas -----	47
3.5.5 Silicose no Brasil -----	49
3.5.6 Limites de exposição ocupacional -----	51
3.6 Políticas de Ação para o Combate à Silicose -----	52
3.6.1 Ação internacional: Programa Global de Eliminação da Silicose -----	53
3.6.2 Ação nacional: Programa Nacional de Eliminação da Silicose-----	53
3.6.3 Ação Setorial: Projeto Marmoristas -----	54
4. MATERIAIS E MÉTODOS -----	57
4.1 Seleção das Marmorarias -----	57
4.1.1 Descrição dos ambientes de trabalho nas marmorarias -----	58
4.2 Coleta das Amostras de Poeira -----	63
4.2.1 Coletas para determinação das concentrações de poeira -----	64
4.2.2 Coletas para medição dos tamanhos das partículas -----	65
4.2.3 Amostradores de poeira -----	66
4.3 Métodos de Análise -----	69
4.3.1 Análises para determinação das concentrações de poeira -----	69
4.3.2 Análises para medição dos tamanhos das partículas -----	71
4.4 Dificuldades experimentais e estimativas de incertezas -----	78
4.5 Exposição Média dos Trabalhadores de Marmorarias: tratamento estatístico dos valores de concentração para avaliação da exposição ocupacional -----	79
4.5.1 Representação gráfica com eixo transformado -----	80
4.5.2 Cálculo da probabilidade da exposição para poucas amostras -----	82
4.5.3 Valores de referência -----	84
4.6 Tamanho Característico das Partículas Geradas em Marmorarias: distribuição dos tamanhos das partículas -----	85
4.6.1 Diâmetro aerodinâmico das partículas -----	86
4.6.2 Equações de conversão de Hatch-Choate -----	87

4.6.3 Concentração em número de partículas suspensas no ar -----	88
4.7 Limites de Confiança das Medições -----	88
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	90
5.1 Avaliação da Exposição Ocupacional a Poeiras: concentrações de poeira nas frações inalável, torácica e respirável -----	90
5.1.1 Condições gerais de trabalho e resultados obtidos -----	103
5.1.2 Exposição média dos trabalhadores de marmorarias -----	106
5.1.3 Marmoraria a úmido: modelo de situação de trabalho -----	117
5.2 Distribuição dos Tamanhos das Partículas Suspensas no Ar dos Ambientes das Marmorarias -----	120
5.2.1 Tamanho predominante das partículas presentes nos ambientes das marmorarias -----	124
5.2.2 Influência da umidificação sobre as partículas suspensas no ar das marmorarias -----	128
5.2.3 Diâmetro aerodinâmico das partículas por instrumento automático -----	132
6. CONCLUSÃO -----	135
7. RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS -----	138
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS -----	139
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	140
APÊNDICE -----	A.1 - A.23

LISTA DE TABELAS

Tabela III.1:	Principais elementos constituintes da crosta terrestre -----	6
Tabela III.2:	Produção de rochas no Brasil – 2000 -----	18
Tabela III.3:	Valores para frações em massa de particulado relacionadas com efeitos à saúde, identificadas no novo critério seletivo por tamanho de partícula para avaliação da exposição ocupacional a poeiras -----	37
Tabela III.4:	Materiais naturais associados com doenças -----	42
Tabela IV.1:	Número de amostras coletadas, classificadas por tipo de coleta, localização, amostrador, filtro de coleta e número de análises executadas -----	66
Tabela IV.2:	Valores percentuais e valores correspondentes de <i>probits</i> -----	82
Tabela IV.3:	Tabela para computar a percentagem da área total na cauda de uma distribuição normal cumulativa -----	84
Tabela V.1:	Tipos de medidas coletivas de controle utilizadas para a redução da exposição ocupacional a poeiras no setor de acabamento das marmorarias avaliadas -----	91
Tabela V.2:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria PE -----	93
Tabela V.3:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria MP -----	94
Tabela V.4:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria PA -----	95
Tabela V.5:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria GR -----	96
Tabela V.6:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria PM -----	97

Tabela V.7:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria IT -----	98
Tabela V.8:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria BA -----	99
Tabela V.9:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria SK -----	100
Tabela V.10:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria AL -----	101
Tabela V.11:	Concentração de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria DE -----	102
Tabela V.12:	Exposição média dos trabalhadores das marmorarias nas frações inalável, torácica, respirável e à sílica na fração respirável. Probabilidades do valor de referência ser ultrapassado em cada fração de poeira avaliada.-----	114
Tabela V.13:	Valores calculados para determinação da probabilidade da concentração de exposição ultrapassar o valor de referência (Pn) em uma marmoraria adotada como modelo prático para verificação da eficiência da umidificação como medida de controle para a contenção da poeira. -----	118
Tabela V.14:	Probabilidade da concentração de exposição ultrapassar o valor de referência (Pn) no setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas -----	119
Tabela V.15:	Distribuição de frequência global dos tamanhos das partículas geradas por atividades executadas em marmorarias.-----	125
Tabela V.16:	Concentração em número das amostras coletadas para determinação dos tamanhos das partículas em marmorarias que operam com acabamento a seco. Classificação para construção da curva de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) -----	129
Tabela V.17:	Concentração em número das amostras coletadas para determinação dos tamanhos das partículas na marmoraria modelo que opera com processo a úmido. Classificação para construção da curva de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) -----	131

Tabela V.18:	Distribuição dos diâmetros aerodinâmicos das partículas coletadas com cassete de face aberta. Valores obtidos com analisador de partículas Aerosizer.-----	134
---------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

APÊNDICE

Tabela A.1:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com disco de desbaste para acabamento a seco -----	A.1
Tabela A.2:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com rebolo abrasivo de gramatura N°120 para acabamento a seco -----	A.3
Tabela A.3:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°36 para acabamento a seco -----	A.5
Tabela A.4:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°60 para acabamento a seco -----	A.7
Tabela A.5:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°120 para acabamento a seco -----	A.8
Tabela A.6:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°180 para acabamento a seco -----	A.11
Tabela A.7:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixas abrasivas de gramaturas N°1000 e 1200 para acabamento a seco -----	A.13
Tabela A.8:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de serras elétricas manuais (serra-mármore) com disco diamantado para acabamento a seco -----	A.14
Tabela A.9:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de serras circulares de bancada para corte tradicional a úmido -----	A.17
Tabela A.10:	Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras pneumáticas para acabamento a úmido -----	A.19

Tabela A.11: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas em áreas de circulação dos trabalhadores para verificação de dispersão da poeira pelo ambiente ----- A.21

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1:	Esquema do ciclo das rochas, litológico e petrogenético -----	8
Figura 3.2:	Ilustração do movimento mucociliar -----	32
Figura 3.3:	Ilustração do processo de fagocitose -----	33
Figura 3.4:	Encadeamento dos processos de exposição, dose e resposta para partículas insolúveis capazes de causar uma resposta fibrótica -----	34
Figura 3.5:	Curvas das frações inalável, torácica e respirável em função do diâmetro aerodinâmico da partícula, adotadas internacionalmente pela ACGIH, ISO e CEN (1993-1994) -----	38
Figura 4.1:	Ilustração do amostrador de partículas Respicon® -----	67
Figura 4.2:	Esquema de varredura do filtro para seleção dos campos de visualização destinados à medição dos tamanhos das partículas -----	72
Figura 4.3:	Esquema do quadro de medição do analisador de imagem -----	73
Figura 4.4:	Esquema de operação de um medidor de diâmetro aerodinâmico das partículas -----	76
Figura 5.1:	Trabalhador executando operação de acabamento em granito com disco de desbaste acoplado a lixadeira elétrica manual -----	104
Figura 5.2:	Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações de poeira na fração inalável (A) e na fração torácica (B) do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas -----	108
Figura 5.3:	Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações de poeira na fração respirável (C) e de sílica na fração respirável (D) do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas -----	109
Figura 5.4:	Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações de poeira na fração inalável (E) e na fração torácica (F) das atividades executadas a úmido das marmorarias avaliadas -----	110

Figura 5.5:	Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações de poeira na fração respirável (G) e de sílica na fração respirável (H) das atividades executadas a úmido das marmorarias avaliadas -----	111
Figura 5.6:	Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações de poeira na fração inalável (I) e na fração torácica (J) das áreas de circulação do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas -----	112
Figura 5.7:	Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações de poeira na fração respirável (K) e de sílica na fração respirável (L) das áreas de circulação do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas -----	113
Figura 5.8:	Frequência acumulada para os diâmetros das partículas de poeira coletadas em marmorarias junto a operadores de lixadeiras com disco de desbaste (A), rebolo 120 (B), lixa N°36 (C), lixa N°60 (D) -----	121
Figura 5.9:	Frequência acumulada para os diâmetros das partículas de poeira coletadas em marmorarias junto a operadores de lixadeiras com lixa N°120 (E), lixa N°180 (F), lixas N°1000 e 1200 (G), serra-mármore (H) -----	122
Figura 5.10:	Frequência acumulada para os diâmetros das partículas de poeira coletadas em marmorarias junto a operadores de serras de bancada para corte tradicional (I), lixadeira pneumática (J) e em áreas de circulação (K) -----	123
Figura 5.11:	Probabilidades de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para a distribuição global dos tamanhos das partículas geradas por atividades executadas em marmorarias. Diâmetro médio por contagem (DMC) obtido por microscopia. -----	125
Figura 5.12:	Probabilidades de frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para a distribuição global dos tamanhos das partículas geradas por atividades executadas em marmorarias. Diâmetro mediano em massa (DMM) e diâmetro mediano em área de superfície (DMS) obtidos pelas equações de conversão de Hatch-Choate.-----	127
Figura 5.13:	Frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações em número de partículas suspensas no ar das amostras coletadas em marmorarias que operam com acabamento a seco -----	130
Figura 5.14:	Frequência acumulada (em unidades de <i>probits</i>) para as concentrações em número de partículas suspensas no ar das amostras coletadas na marmoraria que opera com processo a úmido -----	132

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1:	Expressão matemática da curva da fração inalável -----	36
Equação 3.2:	Expressão matemática da curva da fração torácica -----	36
Equação 3.3:	Expressão matemática da função lognormal cumulativa da curva da fração torácica -----	36
Equação 3.4:	Expressão matemática da curva da fração respirável -----	36
Equação 3.5:	Expressão matemática do limite de exposição ocupacional brasileiro para sílica, na forma de quartzo, na fração respirável -----	52
Equação 4.1:	Expressão de cálculo da média geométrica de uma distribuição lognormal -----	79
Equação 4.2:	Expressão de cálculo do desvio padrão geométrico de uma distribuição lognormal -----	79
Equação 4.3:	Expressão simplificada de cálculo da posição dos dados em um diagrama de probabilidades em uma distribuição normal -----	81
Equação 4.4:	Expressão de cálculo de valores em unidades de <i>probit</i> -----	81
Equação 4.5:	Expressão de cálculo da concentração relativa ao valor de referência	83
Equação 4.6:	Expressão de cálculo de <i>Z</i> para obtenção da probabilidade de não atendimento do valor de referência -----	83
Equação 4.7:	Expressão de cálculo do diâmetro aerodinâmico da partícula -----	86
Equação 4.8:	Expressão de conversão de Hatch-Choate para cálculo do diâmetro mediano em massa -----	87
Equação 4.9:	Expressão de conversão de Hatch-Choate para cálculo do diâmetro mediano em área de superfície -----	87
Equação 4.10:	Expressão de cálculo da concentração em número de partículas suspensas no ar -----	88
Equação 4.11:	Expressão para cálculo da área útil do filtro de coleta -----	88
Equação 4.12:	Expressão para cálculo dos limites de confiança da média das medições -----	89

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
CEN	Comité Européen de Normalisation
CRST	Centro de Referência em Saúde do Trabalhador
DRT	Delegacia Regional do Trabalho
DRX	Difração de Raios-X
EC	Éster de celulose
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat de Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
IARC	International Agency for Research on Cancer
ILO	International Labour Organization
INCOR	Instituto do Coração
ISO	International Organization for Standardization
LEO	Limites de Exposição Ocupacional
LT	Limites de Tolerância
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MO	Microscopia Ótica
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
PC	Policarbonato

PCMSO	Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PNES	Programa Nacional de Eliminação da Silicose
PPRA	Programas de Prevenção de Riscos Ambientais
PVC	Policloreto de vinila
SIMAGRAN-SP	Sindicato das Indústrias de Mármore e Granitos do Estado de São Paulo
VR	Valor de Referência
WHO	World Health Organization

RESUMO

Entre os principais riscos encontrados nos ambientes de trabalho está a exposição a poeiras, favorecendo o aumento de doenças do sistema respiratório, sendo que a silicose é a mais importante delas. Devido à importância e à gravidade de exposição ocupacional a poeiras e ao número elevado de trabalhadores expostos, este trabalho se propôs a estudar as características dessa exposição no beneficiamento de rochas ornamentais em marmorarias. Este estudo teve como base a aplicação das novas convenções adotadas internacionalmente pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), International Organization for Standardization (ISO) e Comité Européen de Normalisation (CEN) para a classificação de poeiras por faixa de tamanhos de partícula. A caracterização da exposição ocupacional levou em consideração as relações entre as concentrações de poeira nos ambientes de trabalho, os tipos de rochas trabalhadas, as operações a úmido e a seco, as máquinas e ferramentas utilizadas e a distribuição dos tamanhos das partículas suspensas no ar, tendo sido utilizados instrumentos de amostragem e medição de última geração. As amostras foram analisadas utilizando as técnicas de gravimetria, difratometria de raios-X, microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura e análise de partículas pela técnica de tempo de voo. Os ambientes de trabalho das marmorarias se caracterizaram por altas concentrações de poeira em todas as frações amostradas (inalável, torácica e respirável), originadas pelas ferramentas utilizadas no setor de acabamento a seco. As concentrações de sílica chegaram a ser 16 vezes superiores ao valor limite recomendado pela ACGIH em 2004. O diâmetro aerodinâmico médio predominante apresentado pelas partículas coletadas nas marmorarias estava no intervalo de 2,2 a 3,9 μm , correspondendo à faixa de maior deposição alveolar e, portanto, de maior risco de se adquirir silicose e câncer de pulmão. A avaliação de uma marmoraria que adotou o processo de acabamento a úmido com lixadeiras pneumáticas mostrou que a probabilidade das concentrações ambientais ultrapassarem os valores de referência ocupacionais para as frações inalável e respirável pôde ser reduzida em até 99%. Da mesma maneira, a umidificação na fonte de geração da poeira mostrou redução de 93% na quantidade de partículas suspensas no ar, em comparação com as marmorarias que operavam com acabamento a seco.

ABSTRACT

The main occupational hazards found in workplaces include dust exposure, facilitating the increase of respiratory diseases, of which silicosis is the most important. Due to the importance and gravity of the occupational exposure to dust and to the high number of workers exposed, the aim of this paper was to study the characteristics of this exposure in the ornamental stone works. This study was based on the application of new conventions adopted internationally by the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), International Organization for Standardization (ISO) and Comité Européen de Normalisation (CEN) for the classification of types of dust by particle size range. The occupational exposure characterization took into consideration the relations between and among dust concentrations in workplaces, the types of rocks worked on, wet and dry operations, the machinery and tools used and the size distribution of particles suspended in the air, with the use of state-of-the-art sampling and measuring instruments. The samples were analyzed using the techniques of gravimetry, X-ray diffraction, optical microscopy, scanning electronic microscopy and particle analysis by the time-of-flight technique. The workplaces of the stone works were characterized by high concentrations of dust in all the sampled fractions (inhalable, thoracic and respirable), produced by the tools used in the dry abrasive polishing sector. The silica concentrations were up to 16 times higher than the maximum value recommend by ACGIH in 2004. The preponderant average aerodynamic diameter presented by the particles sampled at the stone works was between 2.2 and 3.9 μm , corresponding to the range of highest alveolar deposition, and therefore, to the greatest risk of acquiring silicosis and lung cancer. The evaluation of a stone works that adopted the wet abrasive polishing process with pneumatic sanders showed that the probability of environmental concentrations exceeding the occupational reference values for the inhalable and respirable fractions could be reduced by up to 99%. Likewise, wetting at the dust generation source showed a 93% reduction in the quantity of particles suspended in the air, in comparison to the stone works that operated with dry abrasive polishing.

1. INTRODUÇÃO

As atividades de extração e transformação de rochas para utilização como material de construção são tão antigas quanto à própria história da humanidade. Essas atividades são praticadas em todos os continentes, sendo em alguns deles em maior escala. No Brasil, o hábito de usar rochas ornamentais foi introduzido inicialmente pelos colonizadores portugueses e preservado pelos demais imigrantes europeus.

Os maiores mercados consumidores de rochas ornamentais estão interligados com a presença de um forte setor de construção civil, e onde a cultura ou a religiosidade favorece o uso dessas rochas. A indústria da construção civil consome cerca de 80% da produção mundial de rochas ornamentais, enquanto 15% é consumida pela arte, pela confecção de monumentos e por lápides tumulares.

O Brasil produz aproximadamente 550 tipos de rochas comerciais, derivadas de cerca de 1.000 jazidas em atividade. Os principais tipos são: granitos, mármore, quartzitos, ardósias, conglomerados, serpentinitos, pedra sabão, pedra talco e materiais do tipo pedra Miracema e pedra Lagoa Santa. Estão registradas 300 empresas mineradoras e 250 empresas de beneficiamento de blocos. Para trabalhos de acabamento final e aplicação operam aproximadamente 6.000 marmorarias. Destas, cerca de 180 empresas exportam rochas beneficiadas⁽¹⁾.

Os maiores produtores brasileiros de rochas ornamentais e de revestimento encontram-se nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e São Paulo, sendo o Espírito Santo o maior produtor.

O Estado de São Paulo destaca-se como o maior centro consumidor de rochas ornamentais do país e responde por cerca de 70% do consumo nacional de mármore e granitos beneficiados. Utiliza quase toda a sua própria produção, além de absorver materiais de outros Estados.

Segundo dados do Sindicato das Indústrias de Mármore e Granitos do Estado de São Paulo (SIMAGRAN-SP), existem em São Paulo mais de 2.000 marmorarias operando

com polimento, lustro e recorte final de chapas. Elas atendem preferencialmente à demanda de menor porte e estão distribuídas por 157 municípios de todo o Estado. Só na cidade de São Paulo estão localizadas 1.100 delas. Esse quadro, no entanto, é bastante dinâmico, podendo ser alterado substancialmente ao longo do tempo⁽²⁾.

Em São Paulo podem ser encontradas empresas de diferentes portes econômicos, porém, devido à relativa simplicidade do processo produtivo, é comum encontrar empresas instaladas com investimento reduzido e pequeno número de funcionários (geralmente com pouca qualificação e equipamentos relativamente simples). Esse conjunto de características vem acompanhado de grande falta de informação por parte de trabalhadores e empregadores com relação aos riscos ocupacionais, típicos desse ramo de atividade.

Entre os principais riscos encontrados nos ambientes de trabalho, envolvidos com o beneficiamento das rochas ornamentais, está a exposição a poeiras favorecendo o aumento de doenças do sistema respiratório. Entre elas a mais importante é a silicose, que é uma pneumoconiose causada pela inalação de poeiras contendo sílica livre cristalizada. A silicose é uma doença pulmonar crônica e incurável, de evolução progressiva e irreversível, que pode levar à incapacidade para o trabalho, invalidez, aumento da suscetibilidade à tuberculose e câncer do pulmão.

Devido à importância e à gravidade dessa doença e ao número elevado de trabalhadores expostos a poeiras nas marmorarias, várias iniciativas têm sido registradas. Órgãos públicos, nacionais, estaduais e municipais estão trabalhando em parceria no sentido de promover melhores condições de trabalho aos marmoristas⁽³⁾. Além disso, os trabalhos dos marmoristas também constam como uma das atividades que apresenta maior risco de se adquirir silicose no Brasil, sendo um dos ramos considerados prioritários dentro do Programa Nacional de Eliminação da Silicose⁽⁴⁾ para a elaboração de um Plano de Ação Setorial de eliminação da doença.

O município de São Paulo foi escolhido para execução das atividades práticas desta tese, tendo como base os dados preliminares do Projeto Marmoristas⁽³⁾, coordenado pelo

Ministério Público do Estado de São Paulo, através do Setor de Meio Ambiente e Prevenção de Acidentes da Promotoria de Justiça de Acidentes de Trabalho da Capital. O Projeto Marmoristas cadastrou 2.440 trabalhadores de 312 marmorarias no período entre 2000 e 2002. Na primeira fase do projeto (2001) foram examinados 954 trabalhadores, entre os quais foram detectados 159 casos (16,6%) com alterações mostradas em raios-X de tórax, 9 casos (0,9%) confirmados de silicose e 786 (82,4%) trabalhadores sem evidências de alterações radiológicas compatíveis com pneumoconioses. O projeto identificou que os casos confirmados de silicose começam a surgir a partir de 6 anos de trabalho em marmorarias. Até 2002, já era de 14 o número de casos confirmados de silicose. Acredita-se que esse número deva ser ainda maior, pois muitos dos trabalhadores convocados não compareceram para exames confirmatórios.

Dados quantitativos sobre as condições dos ambientes de trabalho, como as concentrações de poeira e a distribuição dos tamanhos das partículas geradas durante as atividades desenvolvidas nas marmorarias, não foram levantados pelo Projeto Marmoristas. Esses dados são de fundamental importância para a recomendação das medidas de controle adequadas para a redução da poeira suspensa no ar e a eliminação da silicose nesse ramo de atividade.

Assim, a avaliação da exposição ocupacional a poeiras, realizada nesta tese, baseou-se fundamentalmente nesses parâmetros, para os quais ainda não há registros, na literatura nacional e internacional, de amostragens simultâneas das frações de poeira inalável, torácica e respirável para o ramo de marmorarias. Este estudo teve como base a aplicação das novas convenções adotadas internacionalmente pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)⁽⁵⁾, International Organization for Standardization (ISO)⁽⁶⁾ e Comité Européen de Normalisation (CEN)⁽⁷⁾ para a classificação de poeiras por faixa de tamanhos de partícula.

Foram coletadas amostras do material particulado suspenso no ar, nas frações inalável, torácica e respirável, durante as atividades executadas nas marmorarias. Para isso, foram utilizados instrumentos de amostragem e medição de última geração. Esses

instrumentos foram projetados para refletirem o processo aerodinâmico pelo qual as partículas entram no corpo humano durante a respiração e são, subseqüentemente, depositadas em regiões específicas do trato respiratório.

As amostras foram analisadas utilizando-se as técnicas de gravimetria, microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios-X, disponíveis nos laboratórios da Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO e do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG.

A caracterização da exposição ocupacional levou em consideração as relações entre as concentrações de poeira nos ambientes de trabalho, os tipos de rochas trabalhadas, as operações a úmido e a seco, as máquinas e ferramentas utilizadas e a distribuição de tamanho das partículas suspensas no ar.

2. OBJETIVOS

O objetivo desta tese foi estudar as características da exposição ocupacional a poeiras no beneficiamento de rochas ornamentais em marmorarias, utilizando instrumentos de amostragem e medição que atendem aos novos critérios de amostragem por seleção dos tamanhos de partícula relacionados com efeitos à saúde. Com esses instrumentos, pretendeu-se obter informações sobre as características típicas da poeira presente nas marmorarias, durante as operações de trabalho mais comuns. Essas informações foram utilizadas para avaliar a exposição do trabalhador e a eficiência das medidas de controle já adotadas para a redução da concentração de poeira nos ambientes de trabalho dos marmoristas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crosta terrestre é formada por vários tipos de rochas que estão inter-relacionadas de maneira complexa, cada qual contendo uma diversidade de minerais. A composição química da crosta terrestre é relativamente uniforme. Apenas oito elementos constituem quase que 99% de sua massa, conforme mostra a Tabela III.1. A partir destes poucos elementos é formada a maioria dos minerais⁽⁸⁾.

Tabela III.1: Principais Elementos Constituintes da Crosta Terrestre⁽⁸⁾

Elemento	% Massa	% Atômica	% Volume
Oxigênio	46,6	62,6	93,8
Silício	27,7	21,2	0,9
Alumínio	8,1	6,5	0,5
Ferro	5,0	1,9	0,4
Cálcio	3,6	1,9	1,0
Sódio	2,8	2,6	1,3
Potássio	2,6	1,4	1,8
Magnésio	2,1	1,8	0,3
Total	98,5	99,9	100,0

O oxigênio e o silício são os dois elementos mais abundantes da crosta terrestre. Sua presença favorece a formação de grande quantidade de silicatos minerais e de sílica em suas várias formas cristalinas, especialmente o quartzo.

O quartzo é um mineral abundante em vários tipos de rocha e produz a mais prevalente doença ocupacional: a silicose. Porém, nas situações mais comuns, os trabalhadores não estão expostos à sílica pura. Outros componentes além da sílica estão presentes na poeira, principalmente os silicatos. Os riscos associados com a inalação de sílica cristalizada em misturas de poeira dependem, também, das propriedades dos outros constituintes da mistura⁽⁹⁾.

Dessa maneira, a exposição às poeiras minerais é um dos principais riscos ocupacionais nas atividades de mineração e processamento de rochas ornamentais, devido à elevada probabilidade de desenvolvimento de pneumoconioses.

Para avaliar corretamente esse risco, algum conhecimento sobre a formação da crosta terrestre, suas rochas e minérios, predominância de espécies minerais, distribuição e associações são essenciais para a compreensão da natureza, extensão e distribuição de doenças relacionadas com a exposição a poeiras.

Com esse intuito, nos próximos itens serão descritos as principais características das rochas e seus ciclos de formação. Posteriormente, serão apresentados os principais tipos, atividades de extração e de transformação das rochas ornamentais e de revestimento. Também será apresentada uma visão do panorama econômico com o objetivo de situar a potencialidade do mercado brasileiro e, portanto, a necessidade de controle do elevado número de trabalhadores expostos a poeiras nas marmorarias.

Finalmente, serão discutidos os principais aspectos de saúde ocupacional, enfocando o problema da sílica e seus efeitos biológicos, bem como as políticas de ação fundamentais para o combate da silicose no ambiente de trabalho das marmorarias.

3.1 Rochas

Rochas são agregados naturais, formadas por um ou mais minerais, que cobrem vastas áreas da crosta terrestre⁽¹⁰⁾. A Figura 3.1 apresenta uma ilustração do ciclo de formação das rochas. Considerando sua origem, estrutura, características químicas e mineralógicas, as rochas dividem-se em três grupos principais: rochas ígneas ou magmáticas, rochas sedimentares e rochas metamórficas.

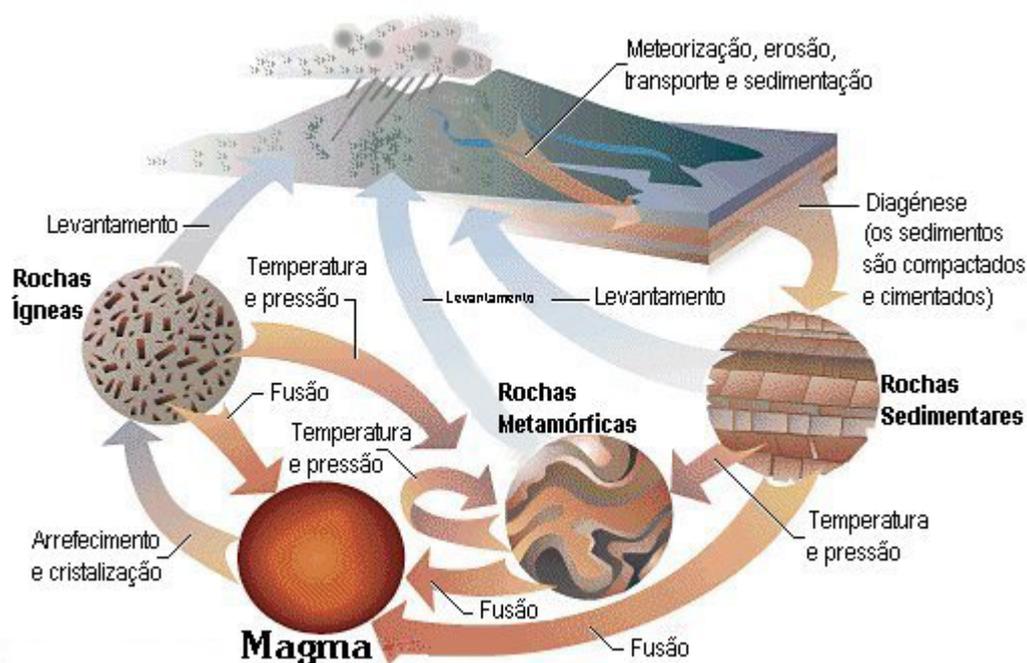


Figura 3.1: Esquema do ciclo das rochas, litológico e petrogenético⁽¹¹⁾

3.1.1 Rochas ígneas ou magmáticas

São rochas originadas a partir da fusão de materiais no interior da crosta terrestre⁽¹²⁾. O magma é uma solução contendo os constituintes químicos que, quando suficientemente resfriados, cristalizam para dar origem aos vários minerais que formam a rocha resultante⁽¹¹⁾. Os elementos formadores dos principais constituintes dos magmas, enumerados em ordem de abundância, são: oxigênio, silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio⁽¹³⁾.

O magma solidificado na superfície da Terra forma a rocha magmática extrusiva ou vulcânica. As rochas vulcânicas mais comuns são: basalto, andesito, riolito, traquito, fonólito, traquiandesito e traquibasalto. Quando se resfria e se solidifica no interior da crosta terrestre, o magma forma a rocha magmática intrusiva ou plutônica. Entre a grande diversidade de rochas plutônicas, os granitos são os mais abundantes. Outros tipos comuns são diorito, gabro, peridotito e sienito⁽¹¹⁻¹³⁾.

As rochas magmáticas podem ser divididas de acordo com o teor de sílica. De maneira geral, as rochas de tonalidades claras indicam a presença de teores elevados de sílica e alumínio e quase ausência de ferro. As rochas com menos de 45% de sílica são chamadas ultrabásicas (dunito, periodito). Aquelas com teores de sílica entre 45% e 52% são classificadas como básicas (gabro, diabásio, basalto). As intermediárias contêm até 66% de sílica (sienito, diorito, traquito, fonolito) e as ácidas contêm mais de 66% de sílica (granito, riolito)⁽¹¹⁻¹³⁾.

3.1.2 Rochas sedimentares

São originadas pelo acúmulo e consolidação de materiais provenientes da degradação de rochas pré-existentes, que são provocados pela ação do vento, da água e do gelo, pela precipitação de elementos químicos ou, ainda, pelo acúmulo de restos orgânicos. As rochas pré-existentes podem ser magmáticas, metamórficas ou sedimentares^(11,13).

Tanto na decomposição química como na desintegração mecânica das rochas originais, os produtos finais consistem em minerais argilosos, em sais solúveis diversos e em grãos de minerais inertes, como o quartzo, o zircão, o rutilo e a magnetita⁽¹¹⁻¹⁴⁾.

As rochas sedimentares caracterizam-se, em geral, por um arranjo paralelo de suas partículas constituintes e formam camadas ou leitos que se distinguem entre si pelas diferenças em espessura, dimensão do grânulo ou cor. Em todas as rochas sedimentares de granulação grossa existe algum material que age como um cimento que circunda as partículas minerais individuais, unindo-as. Esse cimento pode ser sílica, carbonato de cálcio ou óxido de ferro⁽¹³⁾.

3.1.3 Rochas metamórficas

São rochas produzidas por metamorfose ou modificação de outras rochas. Essa modificação resulta da ação da temperatura, pressão, tensão mecânica e/ou adição ou subtração de compostos químicos em uma rocha pré-existente, seja esta sedimentar,

magmática ou uma rocha metamórfica mais antiga. Nessa situação, os minerais constituintes da rocha sofrem um novo arranjo, de modo que alguns minerais transformam-se em outros, ou ainda, um mesmo mineral é fundido e depois se cristaliza novamente⁽¹¹⁻¹³⁾.

Devido à pressão a que a rocha é submetida, as partículas minerais quebram-se, achatam-se ou recristalizam-se para formar camadas paralelas. Esse aspecto em bandas ou lâminas, resultante do arranjo paralelo dos minerais, é a característica mais notável de uma rocha metamórfica.

Alguns exemplos de rochas metamórficas são: gnaisse, quartzito, ardósia, filito, micaxisto, mármore, itabirito, migmatito, dentre outras. Os principais processos de metamorfismo são: de contato (efeito do calor), cataclástico (efeito da pressão), ou regional (efeito da temperatura e pressão)⁽¹¹⁻¹⁴⁾.

No próximo item, estarão em foco apenas as rochas ornamentais e de revestimento, objetos de estudo deste trabalho. Assim, serão descritos seus principais tipos, atividades de extração e de transformação e sua situação no panorama econômico brasileiro.

3.2 Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais e de revestimento^(1,15,16) abrangem os tipos de rochas que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Essas rochas também são conhecidas como pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria. Seu valor comercial está baseado principalmente em suas características estéticas, assim como o padrão cromático, o desenho, a textura e a granulação. Entre suas principais aplicações destacam-se os cortes especiais para a construção civil, como revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, entre outros. As rochas ornamentais, também, são utilizadas para a confecção de peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões e lápides funerárias^(15,16).

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais utilizadas na construção civil têm sido denominadas genericamente de “mármore” e “granito”. Entretanto, essas designações nem sempre correspondem às classificações petrográficas das inúmeras rochas que são usadas para esse fim. Dentro desse contexto, enquadram-se como granitos as rochas silicatadas, capazes de receber beneficiamento para serem utilizadas como material de revestimento na construção civil, enquanto os mármore englobam quase todas as rochas carbonatadas^(1,15-17).

Os quartzitos, arenitos, conglomerados, serpentinitos, travertinos e ardósias também são considerados rochas ornamentais. As rochas que não necessitam de acabamento são genericamente referidas no mercado como pedras naturais⁽¹⁾.

3.2.1 Materiais utilizados como rochas ornamentais

Entre os principais materiais utilizados como rochas ornamentais encontram-se:

a) granitos

Para o setor de rochas ornamentais o termo “granito” designa um amplo conjunto de rochas silicatadas, composto predominantemente por quartzo e feldspato. Os granitos abrangem as rochas homogêneas (granitos, sienitos, monzonitos, charnoquitos, diabásios, basaltos, etc) e as chamadas rochas “movimentadas” (gnaisses e migmatitos)^(1,11,13, 15-18).

As cores das rochas são determinadas fundamentalmente pelos constituintes mineralógicos. Os minerais formadores dos granitos, em sentido mais amplo, são definidos por associações variáveis de quartzo, feldspatos, micas, piroxênios e anfibólios, com diversos minerais acessórios em proporções reduzidas. Normalmente o quartzo é translúcido, incolor ou fumê. Os feldspatos conferem aos granitos a coloração avermelhada, rosada ou creme-acinzentada. A cor negra é conferida principalmente por

teores variáveis de mica (biotita), piroxênio e anfibólio impregnados na matriz das rochas^(1, 15-17).

A resistência à abrasão dos granitos é proporcional à dureza dos seus minerais constituintes. Dentre estes minerais, de acordo com a Escala Mohs⁽¹⁹⁾, o quartzo é classificado com fator de dureza 7 e os feldspatos com dureza 6. Entre os granitos, a resistência ao desgaste será, em geral, tanto maior quanto maior a quantidade de quartzo.

Granitos são rochas magmáticas. Estas ocorrem tanto sob a forma de maciços rochosos (afloramento principal da rocha) quanto em matacões (blocos arredondados de afloramento secundário). Sua composição é ácida com teores de sílica maiores que 66% (geralmente em torno de 72%). Quanto à mineralogia, são definidos pela predominância de feldspato potássico, oligoclásio subordinado e biotita, acompanhada ou não por hornblenda ou muscovita^(13,18).

Existe uma grande variedade de tipos de rochas denominadas granitos. Essas variedades vão desde o granito, constituído quase que só por feldspatos potássicos, até o granodiorito, constituído principalmente por feldspatos plagioclásios. Os granitos verdadeiros são as rochas nas quais o feldspato potássico excede o feldspato plagioclásio⁽¹⁶⁾.

b) mármore

As rochas comercialmente designadas por mármore englobam, em sentido mais amplo, as rochas carbonatadas. Os mármore são rochas metamórficas compostas essencialmente por calcita ou dolomita. São derivados de metamorfismo regional ou de contato desses calcários e dolomitos^(13,15,20).

Os calcários são rochas sedimentares compostas principalmente de calcita (carbonato de cálcio), enquanto que os dolomitos são rochas também sedimentares formadas,

sobretudo por dolomita (carbonato de cálcio e magnésio). Os mármore resultam da ação de pressão e temperatura em calcários e dolomitos.

Podem-se distinguir os mármore pela característica da superfície da rocha. Geralmente apresentam muitos veios, coloração mais homogênea e ausência de pigmentações pontilhadas e escuras comuns aos granitos. Nos mármore o padrão cromático é definido por minerais acessórios e impurezas, pois os constituintes principais (calcita e dolomita) são brancos. O mármore preto é colorido por material betuminoso; o mármore verde por diopsídeo, hornblenda, serpentina ou talco; o mármore vermelho por hematita e o marrom por limonita.

A dureza (resistência ao risco) é sensivelmente menor nos mármore que nos granitos, uma vez que seus constituintes (calcita e dolomita) apresentam na Escala Mohs⁽¹⁹⁾ um fator de dureza entre 3 e 4.

c) ardósias

Ardósias são rochas metamórficas produzidas pelo metamorfismo de folhelho de baixo grau. São rochas sílico-argilosas de granulação muito fina, pouco brilho e cristalinidade baixa^(13,18-20).

Essas rochas possuem clivagem característica, conhecida como ardosiana, resultante do alinhamento dos minerais planares durante o metamorfismo e a deformação. São endurecidas em finas lâminas, caracterizadas por apresentarem clivagem perfeita, podendo assim formar grandes placas. Em virtude disso, partem-se segundo superfícies notavelmente planas.

As ardósias compõem-se essencialmente de mica (muscovita-sericita), quartzo e clorita. São homogêneas, apresentam dureza média e podem ser encontradas nas cores cinza, verde, preta, roxa e ferrugem^(14,19).

d) quartzitos, arenitos e conglomerados

Quartzitos e arenitos são rochas compostas essencialmente por quartzo. São rochas sedimentares clásticas (originadas do acúmulo e consolidação de sedimentos de granulação de areia entre 0,02 a 2,0 mm). Os quartzitos originam-se a partir de metamorfismo de rochas sedimentares, como os próprios arenitos^(13,15,18,20).

Nos quartzitos, os grãos de quartzo do arenito são cimentados pela sílica que percola a rocha, eliminando a porosidade original. É uma rocha monominerálica e, portanto, não foliada, diferenciada do arenito por não possuir espaço intergranular. Podem ser formados por metamorfismo de todos os graus, seja ele de contato ou regional. Os quartzitos puros são brancos, entretanto, impurezas como óxido de ferro dão à rocha uma coloração escura ou avermelhada.

Em razão de sua gênese, os arenitos são normalmente mais porosos e menos resistentes do que os quartzitos. A composição quartzosa (dureza 7) de arenitos e quartzitos confere-lhes alta resistência ao risco e ao desgaste abrasivo⁽¹⁹⁾.

Algumas variedades de quartzitos são relativamente flexíveis e desenvolvem deslocamento em planos preferenciais de foliação, determinados, sobretudo, pela orientação de placas de mica. Arenitos com estrutura estratificada ou laminada podem permitir deslocamento ao longo das camadas, geralmente, sobrepostas e paralelas entre si^(13,18).

Conglomerados são também rochas sedimentares clásticas, que diferem dos arenitos por apresentarem constituintes de maior diâmetro (superior a 2,0 mm). Tais constituintes, referidos como seixos e grânulos, compõem-se basicamente de fragmentos de quartzo e tipos variados de rocha (quartzos, granitos, gnaisses, etc)^(13,15,18).

Os conglomerados, utilizados como rocha ornamental, encontram-se afetados por metamorfismo, o que lhes confere maior coesão entre os grãos e maior resistência mecânica.

e) travertinos

Os travertinos, a exemplo dos calcários, são rochas carbonatadas essencialmente calcíticas (carbonato de cálcio). Podem apresentar-se pouco ou não metamorfizadas e são definidas pela sua coloração bege-amarelada. Apresentam características físicas muito heterogêneas, marcadas por bandeamento concêntrico ou tabular, cavidades, estruturas alveolares, feições brechóides e freqüentes impurezas argilosas e silicosas^(13,15,20).

No setor de rochas ornamentais, os travertinos são comumente referidos como mármore. No Brasil, diversas ocorrências de travertinos são descritas e assinaladas em mapas geológicos, com depósitos mais expressivos na região Nordeste e, particularmente, explorados na Bahia^(1,15,21).

Também conhecido como tufa calcária, o travertino é uma variedade de calcário poroso. É formado pela concentração de carbonato de cálcio em solução que sofre evaporação ou resfriamento em cavernas calcárias e em fontes termais ou ricas em carbonato de cálcio. O acúmulo de estalactites e estalagmites e outros espeleotemas forma massas de calcário travertino⁽¹⁸⁾.

3.2.2 Processo produtivo

O processo produtivo das rochas ornamentais é composto por um número reduzido de etapas de relativa simplicidade. As principais etapas do processo, desde a atividade minerária até o produto final, são a lavra em blocos, o desdobramento em chapas ou tiras e o beneficiamento que compreende acabamento superficial, corte e acabamento ou aperfeiçoamento final dos produtos. As operações efetuadas no beneficiamento referem-se ao acabamento do material serrado, visando conferir o aspecto e a forma exigidos para a utilização na construção civil^(15,21).

A primeira etapa do acabamento é realizada ainda nas serrarias. Depois disso, as chapas são distribuídas para as marmorarias para corte e aperfeiçoamento final, atendendo às solicitações específicas dos usuários finais. É intenso o comércio de chapas semi-acabadas demandadas, sobretudo, pelas pequenas marmorarias. Estas, por sua vez, são abastecidas diretamente pelas empresas de desdobramento ou por grandes atacadistas e distribuidores, dependendo de como se estrutura o comércio e a distribuição do setor.

3.2.3 Marmorarias

Marmoraria é uma denominação que está ligada às antigas instalações destinadas ao processamento de mármore, mas onde hoje se trabalha com todo tipo de rocha ornamental.

As operações mais comuns executadas nas marmorarias são o polimento, o lustro e o corte em formas e tamanhos definidos pelo usuário. Nas marmorarias executa-se um polimento mais fino que nas serrarias. Esse polimento destina-se à remoção de eventuais riscos causados durante o transporte ou o corte final das chapas^(15,21).

O processo de corte linear ou curvo das chapas dá forma e dimensão final ao produto. Este é feito com o uso de discos rotativos diamantados, acionados por cortadeiras, fresadoras ou furadeiras. O acabamento final das peças cortadas é realizado, na grande maioria dos casos, também, com o uso de ferramentas abrasivas na forma de discos, lixas e rebolos, movidos por lixadeiras, fresadoras e similares.

As marmorarias executam serviços sob medida para o cliente. A partir de um desenho, escolhe-se o material e passa-se à fase de produção. Os serviços prestados pelas marmorarias vão desde a escolha do tipo de acabamento da superfície do material até a execução e entrega da obra.

Segundo levantamento do SIMAGRAN-SP⁽²²⁾, não mais do que trinta empresas possuem máquinas de tecnologia de ponta, como serra-ponte e máquinas para acabamento de bordas. Isso representa apenas 1,5% das cerca de 2.000 marmorarias em

atividade no Estado de São Paulo. Entre os principais equipamentos utilizados em marmorarias estão⁽²³⁾:

- *serra tradicional*: usada com discos especiais para corte de mármore ou granito e com discos silenciosos que reduzem o ruído;
- *lixadeira ou politriz manual*: ferramenta angular ou lixadeira de bandas usada para esmerilhar, desbastar ou polir a rocha. Pode ser utilizada com lixa seca, lixa diamantada com o uso da água, disco de desbaste diamantado e roda-de-pano com auxílio de cera abrasiva para lustrar a peça;
- *disco de desbaste*: tipo de fresa que pode ser usada em uma lixadeira para obtenção de bordas precisas;
- *fresadora*: ferramenta utilizada para cortes de bordas em ângulos variados; pode ou não ser acoplada a dispositivos de polimento de bordas;
- *politriz de bancada*: máquina tipicamente usada em marmorarias para polir superfícies de mármore e granito, que trabalha a úmido.

3.2.4 Panorama econômico do setor de rochas ornamentais

O Brasil é considerado um país promissor em termos de matéria-prima e industrialização do setor de rochas ornamentais⁽²⁴⁾. A produção brasileira de rochas para ornamentação e revestimento é superior a 5 milhões t/ano, e as exportações já atingem 1,1 milhão t/ano, o que coloca o Brasil no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais⁽²⁵⁾.

São produzidas cerca de 500 variedades comerciais de rochas entre granitos, mármore, ardósias, quartzitos, travertinos, pedra sabão, basaltos, serpentinitos, conglomerados, pedra talco e materiais do tipo pedra Cariri e pedra Morisca, derivados de quase 1.300 frentes de lavra⁽²⁴⁾.

Atualmente, a produção brasileira é superior a 1 milhão m³/ano, tendo 150 materiais competitivos no mercado internacional. Além disso, aproximadamente 350 tipos de granitos ainda procuram ganhar competitividade, aguardando novas tendências dos

projetos de arquitetura dos países consumidores. São 50 padrões de mármore dos mais variados, cerca de 15 tipos de quartzitos, 8 tipos de coloração de basalto, 8 padrões de ardósia e 3 padrões de travertinos⁽²⁴⁾.

A Tabela III.2 apresenta um resumo da produção brasileira de rochas ornamentais no ano de 2000. Os granitos perfazem cerca de 60% da produção brasileira, enquanto 20% são relativos a mármore e travertinos e quase 10% às ardósias.

O setor brasileiro de rochas ornamentais movimenta cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano. Nesses cálculos estão incluídos a comercialização nos mercados interno e externo e as transações com máquinas, equipamentos, insumos, materiais de consumo e serviços. Com isso, cerca de 105 mil empregos diretos são gerados em aproximadamente 10.000 empresas. O mercado interno é responsável por 80% das transações comerciais, e as marmorarias representam 65% do universo das empresas do setor⁽²⁴⁾.

Tabela III.2: Produção de rochas no Brasil – 2000 ^(25,26)

Tipo de Rocha	Quantidade (toneladas)	Participação (%)
Granitos	2.964.280	56,7
Mármore	959.800	18,4
Ardósias	450.000	8,6
Quartzitos foliados	281.000	5,4
Pedra Miracema	182.000	3,5
Quartzitos maciços	63.700	1,2
Pedra Cariri	60.000	1,1
Arenito	49.000	0,9
Basaltos	39.120	0,7
Pedra sabão/serpentinitos	38.500	0,7
Pedra Morisca	3.600	0,07
Outros	137.600	2,7
Total	5.228.600	100

O Brasil situa-se entre os cinco principais países produtores de rochas em bruto, ficando atrás da Itália, China, Espanha e Índia. É o quarto maior exportador de granitos em bruto depois da Índia, China e África do Sul e está entre os 10 primeiros nas exportações mundiais de rochas processadas^(26,27,28).

Os principais Estados brasileiros exportadores de rochas processadas são Espírito Santo (54,8%), Rio de Janeiro (18,4%), São Paulo (7,4%), Paraná (6,8%) e Santa Catarina (6,2%)^(25,28).

Os Estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia concentram 77% da produção brasileira. O Espírito Santo é o principal produtor com 47% do total nacional, enquanto que Minas Gerais é o segundo maior produtor e responde pela maior diversidade de rochas extraídas.

O consumo interno de rochas ornamentais é estimado em cerca de 50 milhões m²/ano, equivalentes a 25 kg *per capita*, com potencial para atingir 100 milhões m²/ano⁽¹⁸⁾. Segundo essas projeções, as melhores perspectivas do setor brasileiro de rochas ornamentais sinalizam para a segmentação de especialidade nas empresas, a abertura de novos mercados para exportação de produtos acabados e semi-acabados nas exportações, o fortalecimento do mercado interno e a venda de serviços no mercado externo.

A ocorrência de uma grande variedade de materiais, muito valorizados comercialmente no mercado internacional, coloca o Brasil em uma evidente vantagem competitiva. Com isso, o futuro do setor de rochas ornamentais no Brasil indica uma série de necessidades que precisam ser atendidas a curto e médio prazos⁽²⁴⁾. Entre as principais podem ser citadas:

- a modernização das marmorarias, como base para o fortalecimento do mercado interno e da exportação de produtos acabados e serviços;
- a capacitação tecnológica da indústria brasileira de máquinas e equipamentos, visando sua adequação qualitativa e quantitativa de atendimento dos mercados interno e externo;
- a qualificação dos insumos e materiais de consumo do beneficiamento, para otimização da serragem e polimento de chapas e lajotas.

Essa perspectiva conduz a um provável aumento do número de trabalhadores expostos a poeiras. Por isso, as preocupações com a adoção das medidas de controle adequadas para a proteção da saúde dos trabalhadores não podem estar desvinculadas das necessidades de modernização tecnológica para atendimento da demanda produtiva.

3.2.5 Principais fontes produtoras nacionais

Analisando o mercado interno de rochas ornamentais por região, encontramos no Sudeste alguns dos principais mercados para esses produtos⁽²⁴⁾.

O Espírito Santo é o Estado que mais se concentrou na produção e desdobramento de matéria-prima. Na região da Grande Vitória (Serra, Carapina e outras) surgiram grandes investimentos com a implantação de empresas com perfil de exportadoras. O que levou a essa implantação industrial foi o fácil acesso à matéria-prima e a proximidade do Porto de Vitória, principal porto brasileiro para exportação de rochas ornamentais^(24,25). Em virtude dessas características, o Estado possui cerca de 300 marmorarias, pois seu perfil é o de minerador, industrializador e exportador, com cerca de 750 empresas^(23,24).

Minas Gerais é o principal Estado em tipos de granitos movimentados, com mais de 100 variações. Em relação aos mármore, Minas Gerais ainda é o Estado onde se tem a maior variedade de colorações e onde a produção não consegue acompanhar a demanda. O Estado possui mais de 1.500 marmorarias⁽²⁰⁾ de pequeno e médio portes, voltadas ao consumidor final. Elas são alavancadas pelo crescimento constante de habitações de classe média alta, sendo o segundo Estado que mais utiliza rochas ornamentais. São poucas as empresas de transformação de produtos manufaturados. Por outro lado, acredita-se que, brevemente, esse Estado poderá surpreender não só como consumidor, mas também como transformador em função da abundância de jazidas.

O Rio de Janeiro foi o Estado precursor nas exportações de blocos e de chapas. Suas principais rochas são Ju-Paraná, Preto Tijuca, Ás de Paus, Amêndoa e outros. A existência do Porto do Rio de Janeiro e a concentração de grandes empresas exportadoras contribuíram muito para esse quadro. O Rio é o terceiro maior consumidor

no mercado interno. Possui hoje cerca de 1.000 marmorarias em todo o Estado, criando uma excelente demanda para o mercado interno⁽²⁴⁾.

O Estado de São Paulo é um dos Estados onde a construção civil apresenta um dos maiores índices de crescimento do país. Também já foi um dos precursores na exportação de blocos, em virtude dos materiais Vermelho Bragança, Vermelho Capão Bonito, Verde Ubatuba e outros⁽²⁸⁾. O grande investimento em mineração o transformou em um Estado de industrialização, entretanto, em função da existência de pouco mais de 20 granitos comerciais produzidos na região, voltou-se para implantação das atividades de serrarias e polimento, dado ao alto índice de consumo em rochas de revestimento (aproximadamente 50% do consumo interno). Por ser um bom reflexo da arquitetura é, certamente, o Estado que mais adquire produtos nacionais⁽²⁴⁾. São Paulo possui mais de 2.000 marmorarias, sendo que esse número pode chegar a 3.000. Essas marmorarias executam obras com perfil voltado aos pequenos e médios projetos, também criando infra-estrutura para a exportação, principalmente de produtos manufaturados^(24,28,29).

No sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), existem regiões que extraem cerca de 25 tipos de materiais, principalmente granitos, com perfil de exportação para a América Latina e Europa. O mercado interno absorve a produção local e tem bons índices de qualidade e produtividade, com representatividade na exportação de blocos e manufaturados⁽²⁴⁾.

O centro-oeste brasileiro começa a se desenvolver, principalmente na área da mineração. Devido às características da região, para o consumo de rochas locais há uma forte tendência à efetivação de indústrias de beneficiamento e polimento⁽²⁴⁾.

Dentro das regiões Norte e Nordeste, a Bahia é, tanto na mineração como na industrialização, o maior Estado em variedade de granitos. Além disso, tem no travertino o seu carro-chefe. Pernambuco, também, é expressivo na extração e industrialização, mas depois da Bahia, o Ceará foi o Estado que mais investiu em *marketing* e projetos para mineração, em virtude das suas características geográficas e cerca de seus 50 materiais, porém, somente 10 deles conseguiram permanecer no

mercado. Houve um grande investimento inicial com a implantação de 20 unidades para desdobramento e acabamento de chapas e ladrilhos e, hoje, essas unidades são lideradas por apenas três empresas. O Ceará é, em todo o Norte e Nordeste, o Estado que tem um dos granitos mais competitivos do mercado⁽²⁴⁾.

Paraíba e Alagoas vêm se manifestando como Estados mineradores e industrializadores. Rondônia tem somente uma indústria, provavelmente uma das mais modernas do Norte e Nordeste. Por sua vez, começa a ter uma tendência de mineração, dada a materiais incomuns com mais de 10 padronagens⁽²⁴⁾.

Nos demais Estados existem alguns materiais muito expressivos e exclusivos, mas, em geral, são voltados para o próprio consumo regional. Em alguns casos chegam a ser exportados como blocos e começam a desenvolver a produção de produtos manufaturados^(24,25).

3.2.6 Marmorarias da cidade de São Paulo

As marmorarias da cidade de São Paulo foram escolhidas como modelo para desenvolvimento deste estudo, uma vez que estão inseridas na cidade brasileira onde a indústria da construção civil possui o mais alto índice de desenvolvimento e exigência, e a demanda por rochas processadas é elevada. São Paulo consome a produção de rochas do Estado, além de receber rochas originárias também de outras regiões do país.

Segundo dados do Projeto Marmoristas⁽³⁾, divulgados em dezembro de 2001, cerca de 70% das marmorarias da cidade de São Paulo empregam menos de 10 trabalhadores, sendo que mais de 93% são homens com faixa etária predominante entre 18 e 44 anos. As ocupações masculinas mais frequentes são acabador, ajudante geral, cortador/serrador, polidor e colocador. As mulheres, em sua maioria, ocupam postos de trabalho relacionados com funções administrativas (escritório, ajudante geral, direção e gerência).

A atividade de marmoraria é caracterizada por alta rotatividade de trabalhadores, com alto número de demissões a partir de 4 anos de trabalho. O tempo médio de trabalho em uma mesma marmoraria é de 3,6 anos, sendo que cerca de 30% dos trabalhadores observados estavam a menos de 1 ano na mesma marmoraria. Quanto ao tempo total de trabalho em marmorarias, cerca de 13% dos trabalhadores observados possuíam tempo total de até 1 ano, 68% até 10 anos e 2,7% mais de 30 anos.

As operações de trabalho onde há maior geração de poeira estão nos setores de acabamento e corte, sendo que o processo úmido é adotado no setor de corte de 87,4% das marmorarias. Mais de 90% das empresas não adotam ventilação exaustora para remoção da poeira e mais de 75% não realizam lavagem diária do local. Cerca de 36% das empresas fornecem máscaras de proteção respiratória, entretanto, em cerca de 70% delas, as máscaras são de tipo inadequado para a proteção dos trabalhadores.

Além da exposição ocupacional a poeiras, são riscos típicos observados em marmorarias: ruído (devido aos instrumentos de corte e acabamento de rochas), choques elétricos (situações precárias das instalações elétricas), problemas ergonômicos (posturas inadequadas e esforços por levantamento de peso) e acidentes com cortes e projeção de materiais.

Com base em visitas a diversas marmorarias e informações obtidas por meio de projetos desenvolvidos pela FUNDACENTRO em outras regiões do Brasil, acredita-se que as situações encontradas nas marmorarias de São Paulo, em geral, são semelhantes às situações encontradas em qualquer região do país.

De acordo com o Estatuto da Pequena Empresa⁽³⁰⁾, a maioria das marmorarias é definida como microempresa. A principal característica desse tipo de empresa é a estrutura administrativa enxuta e informal. O processo produtivo é priorizado por meio do trabalho árduo, visando o aumento da eficiência e controle de custos. Por um lado, essa situação favorece a agilidade na tomada de decisões, porque o empresário é o próprio dono do negócio e possui flexibilidade para adaptar-se rapidamente às exigências do mercado. Por outro, as empresas possuem infra-estrutura precária para responder às

exigências legais que lhes são impostas e a gestão informal também dificulta a documentação de seus problemas⁽³¹⁾.

É comum encontrar instalações associadas à moradia do próprio empresário e a participação de vários membros da família envolvidos no negócio. Empregados e empregadores muitas vezes estão lado a lado no processo produtivo, por isso a relação de dependência dos trabalhadores é muito maior que na grande empresa.

Em geral, são precárias ou inexistentes as iniciativas em Saúde e Segurança no Trabalho (SST), pois essas empresas têm dificuldades para compreender o arcabouço jurídico e o que deve ser feito para atender às exigências legais. Muitas das empresas adquirem serviços de PPRA⁽³²⁾ e PCMSO⁽³³⁾ pelo menor preço, por não possuírem elementos para julgar a qualidade da assessoria comprada.

Na maioria das empresas, as instalações são precárias e os postos de trabalho são inadequados. As marmorarias reconhecem que têm problemas de SST sérios, porém acreditam que a maioria deles possa ser resolvida com o bom senso dos trabalhadores e o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Existe a tendência de se resolver problemas de acordo com a necessidade imediata.

A seguir, serão apresentadas as principais características a serem observadas para o reconhecimento, a avaliação e o controle da exposição ocupacional a poeiras nos ambientes de trabalho das marmorarias.

3.3 Poeiras: Aspectos de Saúde Ocupacional

As poeiras são de particular interesse como contaminantes do ar de ambientes de trabalho, uma vez que estão associadas a diversos tipos de doenças do sistema respiratório. Podem reagir com os tecidos ou ser absorvidas por eles causando efeitos adversos à saúde. Dependendo do tamanho, forma, propriedades químicas e densidade das partículas, concentração de poeira no ar, tempo de exposição e outros fatores, os efeitos à saúde podem variar de uma simples irritação a uma doença fatal⁽³⁴⁾.

Entre as doenças mais comuns causadas pela exposição a poeiras estão as doenças ocupacionais pulmonares, intoxicações sistêmicas, câncer, asma, alveolite alérgica e irritações diversas⁽³⁵⁾.

Reconhecimento, avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira podem ser muito complexos. Devem-se avaliar a natureza do risco, o alvo provável da poeira e as propriedades responsáveis pela resposta biológica de interesse⁽³⁶⁾.

3.3.1 Propriedades mineralógicas e químicas das poeiras

A composição do material particulado influi, significativamente, nas reações celulares que são estimuladas quando a poeira é inalada e as partículas entram em contato com os tecidos biológicos. Não há dúvida de que a sua composição tem uma importante relação com os possíveis efeitos tóxicos nos trabalhadores expostos. Os mecanismos, pelos quais as partículas inaladas de uma dada substância podem provocar respostas biológicas, são variados⁽³⁷⁾.

Uma partícula relativamente insolúvel é vista pelas células do pulmão como um corpo estranho indesejável. Assim, estimula uma série de processos de defesa, que se relacionam tanto com a composição mineralógica quanto com o tamanho da partícula, sua morfologia e propriedades de superfície. Partículas minerais insolúveis, como a sílica cristalina, têm se mostrado tóxicas para as células, ainda que os mecanismos exatos de sua atuação sejam incertos. As respostas biológicas à presença de partículas de quartzo são severas, a ponto de induzir mudanças biológicas permanentes no pulmão. Essas alterações são conhecidas como fibroses pulmonares⁽³⁷⁾.

Em ambientes de trabalho, geralmente, ocorrem misturas complexas de componentes e tipos de minerais, de tal modo que é difícil avaliar a exposição a tais poeiras de uma maneira significativamente verdadeira, mesmo conhecendo-se a concentração em massa, a distribuição dos tamanhos e a morfologia das partículas presentes na poeira como um todo.

O quartzo é um bom exemplo para ilustrar a complexidade da avaliação da exposição ocupacional a misturas de poeiras minerais. A presença de quartzo junto com outros minerais é freqüente em poeiras nos locais de trabalho onde se processam rochas. Mesmo que em proporções relativamente pequenas (menores que 10%), o quartzo representa um risco significativo para a saúde do trabalhador, quando exposto a uma elevada concentração total de poeira. O quartzo presente na poeira não se comporta isoladamente; evidências, a partir de estudos epidemiológicos e de inalação em animais, sugerem que a resposta pode ser modificada pela presença de outros minerais⁽³⁷⁾.

Assim, além da medição da concentração de poeira suspensa no ar, é necessário descrever a exposição em função da distribuição dos tamanhos das partículas e das propriedades químicas e morfológicas de poeiras não homogêneas. Diversos descritores podem ser usados para caracterizar a poeira, como a concentração em massa das partículas, a concentração em massa de uma das espécies químicas constituintes da poeira, a área de superfície ativa das partículas, o número de partículas ou as propriedades cristalinas das partículas. Com isso, o conhecimento específico sobre o processo de geração da poeira e suas interações com o ambiente fornecem importantes informações⁽³⁶⁾.

3.3.2 Geração e dispersão da poeira

Para controlar e diminuir a emissão de poeira é importante entender os mecanismos de sua geração e liberação. Muitos processos industriais geram poeira de uma maneira ou de outra, geralmente, como um efeito do próprio processo e por uma grande variedade de meios físicos e químicos⁽³⁷⁾.

Em linhas gerais, as poeiras minerais são originadas a partir de grandes massas do mesmo material, por meio de processos de ruptura mecânica, como moagem, britagem, perfuração, corte, lixamento, explosão ou fricção entre certos materiais^(38,39).

Nos processos de beneficiamento de rochas, a poeira é gerada principalmente durante as operações de corte, serragem, nivelamento e polimento de superfícies. A composição das poeiras minerais não é, necessariamente, a mesma que a da rocha original. Minerais podem quebrar ou serem removidos do material original em proporções diferentes.

A quantidade de poeira gerada varia com a natureza e a condição do material original e tende a aumentar com a energia associada com o processo em questão, por exemplo, um disco de corte produz mais poeira quando opera a velocidades mais altas. Também é fortemente afetada pela capacidade do material de absorver água e pela umidade atmosférica do local onde está sendo trabalhado. O fator umidade influencia as forças de ligação de superfície que mantêm o material unido. Outros fatores incluem a friabilidade do material original, ou seja, a capacidade de ser quebrado (ou desagregado) reduzindo-se a fragmentos menores ou pó^(38,39).

A dispersão da poeira é intimamente dependente da movimentação do ar ao redor das partículas do material que já se encontra na forma de pó. A poeira é liberada durante as atividades que envolvem o deslocamento de materiais pulverizados, conseqüentemente, métodos manuais para transporte ou deslocamento de grandes quantidades desses materiais, como transferência de um lugar para outro, carregamento e descarregamento de recipientes e limpeza a seco, entre outros, podem constituir apreciável fonte de poeira⁽³⁶⁻⁴⁰⁾.

Para diminuir a geração de poeira, a água pode ser introduzida no processo como um meio de controle. Porém, devem ser consideradas as peculiaridades do processo produtivo em que a presença da água possa gerar outros problemas. Além disso, deve-se notar que materiais úmidos podem, eventualmente, tornarem-se secos novamente e serem subseqüentemente recolocados em suspensão^(35,36).

3.3.3 A importância do tamanho das partículas

O comportamento das poeiras depende diretamente do tamanho das partículas que as compõem. Deposição devido à gravidade, difusão, inércia e mecanismos eletrostáticos

dependem do tamanho das partículas. O espalhamento da luz e os efeitos sobre a saúde variam com o tamanho das partículas. A escolha de equipamentos e materiais para reduzir as concentrações de partículas no ar depende do tamanho das partículas a serem capturadas. O instrumento mais adequado para amostragem de cada tipo de poeira (por exemplo, impactadores, impingers, precipitadores e filtros) deve ser selecionado, considerando o tamanho das partículas a serem coletadas^(37,40,41). No que se refere ao tamanho das partículas de poeira suspensa no ar, o termo “diâmetro da partícula” é uma simplificação. O tamanho geométrico de uma partícula não explica completamente seu comportamento em estado de suspensão⁽³⁷⁾.

A medida do tamanho da partícula mais adequada para a maioria das situações de higiene ocupacional é o diâmetro aerodinâmico. Ele é definido como “o diâmetro de uma esfera hipotética de densidade 1 g/cm^3 , tendo a mesma velocidade terminal de deposição em ar calmo que a partícula em questão, desconsiderando seu tamanho geométrico, forma e densidade verdadeiras”^(40,41).

O diâmetro aerodinâmico expresso dessa forma relaciona-se o mais próximo possível com a habilidade da partícula em penetrar e depositar-se em diferentes regiões do trato respiratório. Indica também o transporte da partícula nos processos de amostragem de poeiras usando dispositivos de filtração.

Tamanho, forma, densidade e higroscopicidade determinam como as partículas comportam-se no ar e a eficiência com que elas são inaladas e depositadas no trato respiratório. Podem influenciar, também, na interação com os tecidos do corpo e nos mecanismos de defesa⁽⁴²⁾. A maneira como as partículas prosseguem através do trato respiratório para diferentes regiões dos pulmões e o local aonde elas provavelmente vão se depositar dependem do diâmetro aerodinâmico da partícula, das dimensões das vias aéreas e do padrão de respiração.

Em qualquer lugar onde as partículas sejam depositadas, nas vias aéreas superiores ou no pulmão, elas possuem potencial para causar dano localmente ou, subseqüentemente, em outro lugar no corpo⁽⁴³⁾. Partículas retidas por longo tempo possuem maior potencial

de causar doenças. Se uma partícula é solúvel, ela pode se dissolver em qualquer lugar que se deposite e seus componentes podem, então, alcançar a corrente sanguínea e outros órgãos e causar doenças⁽⁴⁴⁾. Há partículas que não se dissolvem, mas causam reações locais provocando doenças, nesse caso o local de deposição faz a diferença⁽⁴⁵⁾.

Partículas típicas de poeiras produzidas a partir de minerais são em geral angulares, embora tendam a ser regulares ou ecoaxiais na forma, não exibindo uma dimensão preferencial que seja substancialmente diferente das outras. Seu comportamento pode se aproximar mais do comportamento das partículas esféricas que das partículas com forma de placas planas (micas) ou alongadas (fibras), consideradas exceções entre os minerais⁽³⁷⁾.

3.3.4 Mecanismos de deposição das partículas

Os cinco mecanismos de deposição das partículas são: sedimentação, impactação inercial, difusão, interceptação e deposição eletrostática⁽⁴²⁻⁴⁵⁾.

Estudos sobre aerodispersóides^(37,40) indicam que partículas com diâmetros aerodinâmicos maiores que 50 μm não permanecem suspensas no ar por muito tempo. Essas partículas tendem a sedimentar-se por influência da gravidade. A taxa de sedimentação dependerá do tamanho, forma, massa e orientação da partícula e da densidade e viscosidade do ar⁽³⁴⁾, entretanto, em condições especiais, mesmo partículas maiores que 100 μm podem tornar-se suspensas, mas dificilmente permanecem no ar⁽³⁶⁾.

A inércia de uma partícula, definida como sua tendência a resistir à mudança em sua movimentação, é outro importante mecanismo de deposição. A partícula em movimento através do ar mover-se-á em linha reta, a menos que atue sobre ela uma força externa. Quando uma partícula é forçada a mudar de direção repentinamente, a inércia da partícula fará com que ela continue em frente, em relação ao fluxo original, por uma certa distância, antes que retome a direção do fluxo. Se houver algum obstáculo nessa trajetória linear, a partícula pode ser capturada por impactação sobre a superfície do

obstáculo. Em geral, a probabilidade de impactação aumenta com a massa e a velocidade da partícula e com o formato da mudança de direção⁽³⁷⁾.

Quando o fluxo de ar passa através de uma superfície de coleta, pode produzir deposição das partículas pelo processo de interceptação. Esse processo não depende do movimento da partícula através do fluido, como no caso da impactação inercial. Para fluxos que carregam partículas por uma distância igual ou menor que metade do diâmetro da partícula, esta será capturada quando tocar a superfície⁽³⁷⁾. Esse mecanismo é utilizado nos processos de coleta de amostras sobre filtros.

Para partículas de poeira com dimensões consideravelmente menores que 1 μm , a sedimentação devido à gravidade é negligenciável para todos os objetivos práticos. A velocidade terminal de uma partícula de 1 μm é muito baixa ($\approx 0,03$ cm/s). Assim, o deslocamento dessas partículas, arrastadas pelas moléculas do ar, é mais importante que a sua sedimentação.

Partículas suspensas em um meio gasoso são bombardeadas por colisões com moléculas individuais do gás^(37,40,41). Isso provoca deslocamentos aleatórios das partículas conhecidos como difusão, fazendo com que elas permaneçam suspensas por longos períodos de tempo.

3.3.5 Penetração e deposição das partículas no trato respiratório humano

Partículas pequenas o suficiente para estarem suspensas no ar podem ser inaladas pelo nariz ou pela boca. A probabilidade de inalação depende do diâmetro aerodinâmico da partícula, do movimento do ar ao redor da zona respiratória e da taxa de respiração⁽⁴²⁻⁴⁵⁾. Durante a exposição, o comportamento das partículas dentro dos dutos que compõem o sistema respiratório é influenciado por fatores fisiológicos e fatores relacionados à partícula.

De maneira abrangente, esses fatores levam em consideração a natureza física e química da poeira (distribuição dos tamanhos das partículas, higroscopicidade, forma,

solubilidade em água e lipídios e reatividade química), as condições de exposição (concentração de poeira no ar, temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, esforço físico do trabalhador) e as características do indivíduo (sexo, tamanho do corpo, idade, condição geral de saúde, práticas de trabalho e *status* quanto ao fumo). Existem grandes diferenças na quantidade de poeira depositada em diversas regiões do trato respiratório entre indivíduos diferentes⁽⁴²⁻⁴⁵⁾.

As partículas com diâmetro aerodinâmico maior que aproximadamente 30 μm são depositadas nas vias aéreas superiores que são as passagens entre o ponto de entrada (lábios ou narinas) e a laringe. Durante a respiração nasal, as partículas são depositadas no interior do nariz por filtração nos pêlos nasais e por impacto onde o fluxo de ar muda de direção. A retenção depois da deposição é ajudada pelo muco que reveste o nariz⁽⁴⁵⁾.

Durante o esforço, devido à resistência do fluxo de ar nas passagens nasais, a maioria das pessoas tende a desviar a respiração para a boca. É de conhecimento geral que a rota nasal é um filtro de partículas mais eficiente que a rota oral, especialmente a baixas e moderadas taxas de fluxo. Daí, espera-se que as pessoas que, normalmente, respiram parte ou todo o tempo através da boca tenham mais partículas atingindo o pulmão (e lá se depositando) do que aquelas que respiram sempre pelo nariz⁽⁴⁴⁾. Outros fatores influenciam a deposição e a retenção das partículas, entre eles o fumo e doenças do pulmão.

Das partículas que não se depositam nas vias aéreas superiores, as maiores depositar-se-ão na região traqueobronquial e podem, mais tarde, serem eliminadas pela limpeza mucociliar. Se solúveis, podem migrar pelo corpo por dissolução. As partículas menores podem penetrar na região alveolar e serem absorvidas pelo sangue. Em termos de diâmetro aerodinâmico, somente cerca de 1% das partículas com 10 μm chegam na região alveolar. Assim, 10 μm é normalmente considerado como o limite superior prático para a penetração nessa região⁽⁴²⁻⁴⁵⁾.

A máxima deposição na região alveolar ocorre para partículas de aproximadamente 2 μm de diâmetro aerodinâmico. Partículas maiores tendem a se depositar antes de

chegar aos alvéolos. Para partículas menores, a maioria dos mecanismos de deposição torna-se menos eficiente. Assim, a deposição é pequena para partículas menores que 2 μm , sendo que somente de 10 a 15% das partículas de cerca de 0,5 μm chegam a se depositar. A maioria dessas partículas é exalada novamente e para elas o mecanismo mais significativo é a difusão⁽⁴²⁻⁴⁵⁾.

3.3.6 Mecanismos de limpeza das partículas do trato respiratório

Partículas solúveis, depositadas em qualquer lugar, podem se dissolver liberando material potencialmente perigoso para o corpo. Para as partículas insolúveis, o destino subsequente, depois da deposição, depende dos seguintes mecanismos:

a) Limpeza mucociliar

A traquéia, os brônquios e os bronquíolos são revestidos com células ciliadas (epitélio ciliado) e cobertos por uma lâmina de muco. Os cílios estão em movimento contínuo e sincronizado, atingindo na traquéia uma velocidade de 5 a 10 mm/minuto. Partículas insolúveis, depositadas no epitélio ciliado, movem-se em direção à epiglote e, daí, são engolidas ou expelidas com a saliva em um espaço de tempo relativamente curto^(37,45). A Figura 3.2 apresenta uma ilustração simplificada da limpeza mucociliar.

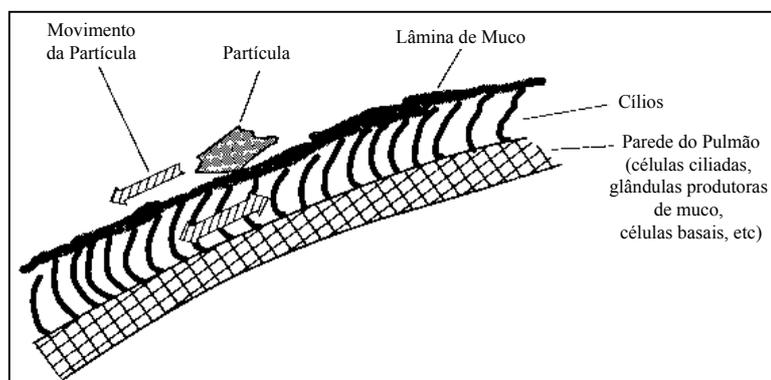


Figura 3.2: Ilustração do movimento mucociliar⁽³⁷⁾

b) Movimento dos bronquíolos

Movimentos peristálticos intermitentes dos bronquíolos, tosse e espirros podem impelir as partículas no muco que reveste em direção à laringe e além dela⁽³⁷⁾.

c) Fagocitose

O epitélio da região alveolar não é ciliado. Entretanto, partículas insolúveis depositadas nessa área são engolfadas por macrófagos. Desse modo, elas podem viajar para o epitélio ciliado e depois serem transportadas para cima e para fora do sistema respiratório, podem permanecer no espaço pulmonar, ou entrar no sistema linfático.

Certas partículas, tais como poeira contendo sílica, são citotóxicas, isto é, elas matam as células macrófagos^(37,45). A Figura 3.3 apresenta uma ilustração do processo de fagocitose.

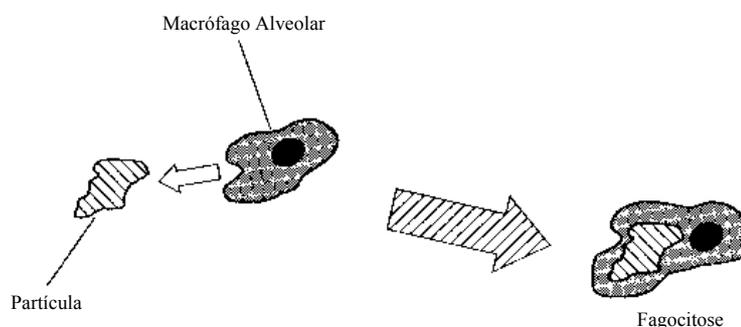


Figura 3.3: Ilustração do processo de fagocitose⁽³⁷⁾

O acúmulo de grande quantidade de partículas insolúveis nos pulmões prejudica a limpeza. Essa condição, chamada de “sobrecarga de poeira”, pode ocorrer como resultado de uma exposição ocupacional prolongada, mesmo a níveis relativamente baixos. Alguns pesquisadores, como Morrow⁽⁴⁶⁾, têm sugerido que tal sobrecarga pode ser um precursor da formação de tumores, mesmo para substâncias que anteriormente tenham sido relacionadas como relativamente inócuas. Considerando essa possibilidade,

a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) estabeleceu um novo limite de exposição ocupacional para “partículas (insolúveis ou de baixa solubilidade) não especificadas de outra maneira”, anteriormente referidas como “poeira incômoda”⁽⁴⁷⁾.

O diagrama de blocos da Figura 3.4, proposto por Vincent⁽³⁷⁾, mostra o destino das partículas inaladas e a relação com a resposta biológica.

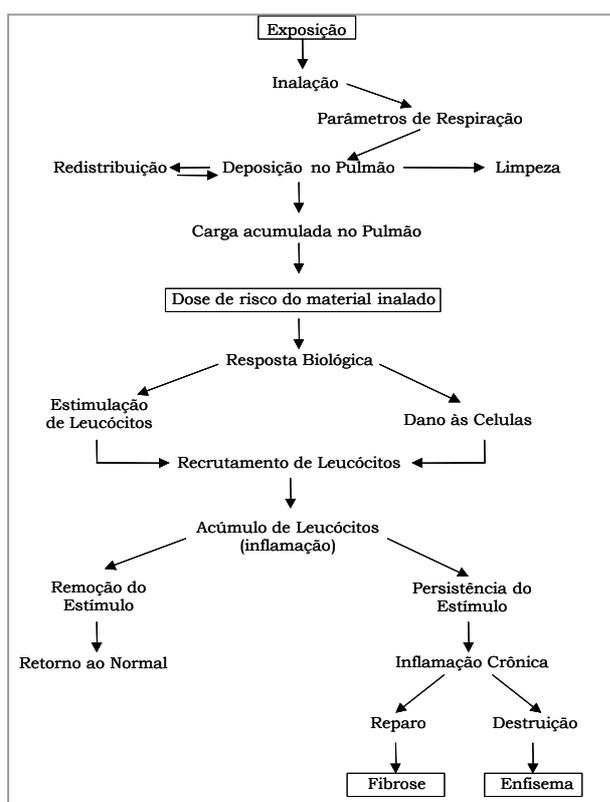


Figura 3.4: Encadeamento dos processos de exposição, dose e resposta para partículas insolúveis capazes de causar uma resposta fibrótica⁽³⁷⁾

3.3.7 Convenções para amostragem de poeira

Sempre que a exposição à poeira precisa ser quantitativamente avaliada, a metodologia para medição dessa poeira deve ser baseada em critérios que relacionem a medição com o risco potencial à saúde que está sendo avaliado. Esses critérios devem levar em conta

fatores físicos e biológicos relevantes para a determinação da exposição, fundamentados, por sua vez, na dose e efeito do agente de risco. Assim, a metodologia deve refletir o processo aerodinâmico que faz com que as partículas entrem no corpo humano durante a respiração e que sejam, subseqüentemente, depositadas nas várias partes do trato respiratório. Além disso, também deve refletir os processos biológicos que provocam a doença⁽⁴⁸⁾.

Os primeiros experimentos para quantificar a fração de particulado inalável foram registrados por Ogden and Birkett (1977). Esses pesquisadores investigaram o transporte de partículas suspensas no ar próximas da zona respiratória de um humano e usaram um manequim de Taylor⁽⁴⁹⁾ com respiração simulada em um túnel de vento. Em 1982, experimentos similares foram registrados por Armbruster and Breuer e Vincent and Mark⁽³⁷⁾.

Outros experimentos foram desenvolvidos com a mesma finalidade em diversos países entre 1980 e 1990. Porém, não puderam ser considerados como bases para a proposta dos critérios de avaliação da exposição a poeiras. A maioria desses trabalhos apresentou variações consideráveis na interpretação dos dados experimentais^(48,49,50).

Um esforço internacional para a harmonização desses critérios começou realmente a acontecer no período de 1989 a 1992. As atividades de harmonização foram coordenadas por grupos de trabalho e comitês formados por representantes da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), da International Organization for Standardization (ISO) e do Comité Européen de Normalisation (CEN)^(37,51). A intenção de harmonização foi confirmada no “International Symposium on Air Sampling Instrument Performance” promovido pela ACGIH e realizado no Research Triangle Park, NC, em outubro de 1991.

Com base em novas propostas da ISO (1992)⁽⁶⁾, ACGIH (1993-1994)⁽⁵⁾ e CEN(1992)⁽⁷⁾, chegou-se aos seguintes critérios harmonizados para objetivos de amostragem⁽³⁷⁾:

1. A amostragem relacionada com a saúde deve ser baseada em uma ou mais das três frações seletivas por tamanho de partícula, progressivamente mais finas: inalável, torácica e respirável.
2. A fração inalável (I) é descrita empiricamente por uma curva única relacionando inalabilidade e diâmetro aerodinâmico da partícula (d_{ae}):

$$I(d_{ae}) = 0,5 \{1 + \exp(-0,06d_{ae})\} \quad (3.1)$$

3. A fração torácica (T) é descrita empiricamente pela equação:

$$T(d_{ae}) = I(d_{ae}) \{1 - F_T(d_{ae})\} \quad (3.2)$$

onde, $F_T(d_{ae})$ é uma função lognormal cumulativa com média $d_{ae} = 11,64 \mu\text{m}$ e desvio padrão geométrico $\sigma_g = 1,5$. Daí,

$$F_T(d_{ae}) = \int_0^{d_{ae}} \left[\frac{1}{x\sqrt{2\pi} \ln 1,5} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x/11,64)}{\ln 1,5} \right)^2 \right\} \right] dx \quad (3.3)$$

Assim, a Equação 3.2 demonstra que a fração torácica é uma subfração da fração inalável, consistente com a natureza física da exposição humana real. Isso significa que, como uma fração da poeira inalável, a fração torácica cai 50% para um diâmetro aerodinâmico $d_{ae} = 11,64 \mu\text{m}$; ou como uma fração da poeira total, cai para 50% a um diâmetro aerodinâmico $d_{ae} = 10 \mu\text{m}$.

4. De maneira semelhante, a fração respirável (R) é descrita pela equação:

$$R(d_{ae}) = I(d_{ae}) \{1 - F_R(d_{ae})\} \quad (3.4)$$

onde, $F_R(d_{ae})$ é uma função lognormal cumulativa com média $d_{ae} = 4,25 \mu\text{m}$ e desvio padrão geométrico $\sigma_g = 1,5$. Analogamente ao caso anterior, pode-se observar que,

como uma fração da poeira inalável, a fração respirável cai 50% para um diâmetro aerodinâmico $d_{ae} = 4,25 \mu\text{m}$; ou como uma fração da poeira total, cai para 50% a um diâmetro aerodinâmico $d_{ae} = 4 \mu\text{m}$.

O critério harmonizado é apresentado na Tabela III.3 e ilustrado graficamente na Figura 3.5. Esses valores devem ser utilizados para comparação de desempenho de dispositivos de amostragem de poeiras.

Tabela III.3: Valores para frações em massa de particulado relacionadas com efeitos à saúde, identificadas no novo critério seletivo por tamanho de partícula para avaliação da exposição ocupacional a poeiras⁽³⁷⁾

Diâmetro aerodinâmico da partícula (μm)	% Massa de particulado Inalável	% Massa de particulado Torácica	% Massa de particulado Respirável
0	100	100	100
1	97	97	97
2	94	94	90
3	92	92	73
4	89	89	50
5	87	85	30
6	85	80	17
7	83	74	9
8	81	66	5
9	79	58	3
10	77	50	1
12	74	35	
14	72	23	
16	69	15	
18	67	9	
20	65	6	
25	61	2	
30	58		
35	56		
40	55		
45	53		
50	52		
100	50		

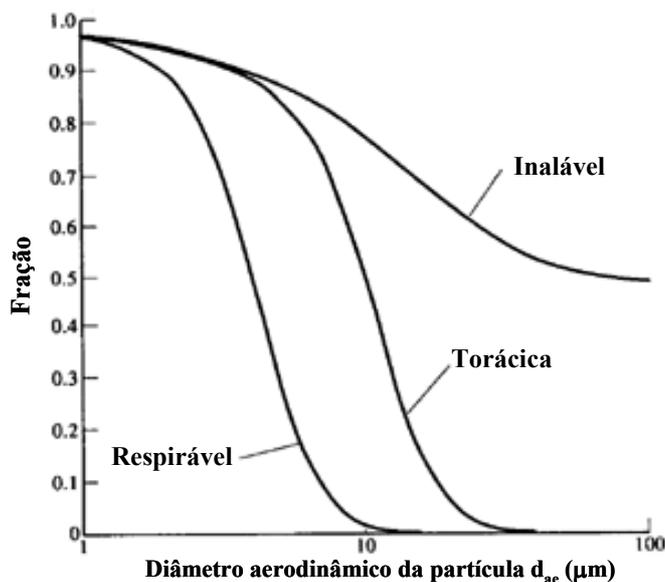


Figura 3.5: Curvas das frações inalável, torácica e respirável em função do diâmetro aerodinâmico da partícula, adotadas internacionalmente pela ACGIH, ISO e CEN (1993-1994). A figura mostra as poeiras torácica e respirável como subfrações da fração inalável⁽³⁷⁾

Para determinar em qual categoria um determinado tipo de poeira pode ser melhor classificado é necessário considerar o tipo de efeito à saúde com o qual ela pode estar associada. Dependendo dos efeitos à saúde, uma ou outra região será de maior interesse, conforme as definições a seguir:

- a) **Fração de particulado inalável** é aquela fração de uma nuvem de poeira que pode entrar pelo nariz ou pela boca (partículas < 100 µm). A amostragem de particulado inalável é sugerida quando é provável que a poeira depositada seja absorvida pelo corpo no local da deposição ou se a poeira está associada com câncer nasal^(37,52).
- b) **Fração de particulado torácico** é aquela fração de poeira que pode penetrar nas vias aéreas superiores e entrar nas vias aéreas dos pulmões (partículas < 25 µm). A amostragem de poeira torácica é sugerida quando se acredita que a poeira é responsável por efeitos locais como broncoconstrição, asma, agravamento de bronquite crônica ou pela indução de tumores broncogênicos^(37,52).

- c) **Fração de particulado respirável** é aquela fração da poeira suspensa no ar inalado que pode penetrar além dos bronquíolos terminais, entrando na região de troca de gases dos pulmões (partículas < 10 µm). A amostragem da fração respirável é sugerida quando a poeira é insolúvel e a doença está associada com a região de troca de gases do pulmão, como com doenças fibrogênicas (como a silicose) ou enfisema pulmonar^(37,52).

Como regra geral, a amostragem deve ser especificada em termos da convenção inalável para as substâncias que são suspeitas de causar câncer, que são agentes carcinogênicos confirmados ou que são solúveis e estão associadas com efeitos sistêmicos (onde o material tóxico pode entrar no sangue após deposição em qualquer parte do trato respiratório e ser transportado para outros órgãos).

Entretanto, quando se deseja usar os resultados de amostragem para avaliar o risco baseado em considerações mais detalhadas, é mais apropriado fazer medições das frações inalável, torácica e respirável simultaneamente.

A seguir será tratado o caso especial da poeira contendo sílica.

3.4 Sílica

Sílica é o nome de um grupo de minerais contendo silício e oxigênio, representado por meio da fórmula geral SiO_2 . A sílica pode ser livre (na qual somente SiO_2 está presente) ou combinada (na qual o SiO_2 está ligado quimicamente a alguns outros átomos ou moléculas)^(13, 53).

A sílica livre pode ocorrer como sílica livre cristalizada ou sílica livre amorfa, para as quais existem muitas formas conhecidas denominadas polimórficos. As diferenças nas estruturas apresentadas pelas várias formas de sílica resultam nas diferenças em suas propriedades (solubilidade, características de clivagem, morfologia e propriedades de superfície) que podem influenciar sua atividade biológica⁽⁵⁴⁾.

As formas não cristalinas de sílica (sílica amorfa) são consideradas formas de menor potencial fibrogênico, porém o aquecimento a alta temperatura pode mudar suas estruturas para a forma cristalina⁽⁸⁾.

Para efeito de estudo na área de saúde ocupacional, as três principais formas cristalinas de SiO₂ são quartzo, cristobalita e tridimita. Apesar de possuírem a mesma fórmula química, suas estruturas cristalinas são muito distintas. Os cristais de quartzo são hexagonais, os de cristobalita são tetragonais e os de tridimita são ortorrômbicos^(13,14).

a) Quartzo

Quartzo é a principal forma de sílica cristalina e a mais abundante na natureza. Essa forma é tão abundante que o termo quartzo é freqüentemente usado como sinônimo de sílica cristalina. Em temperaturas abaixo de 573°C, o quartzo apresenta estrutura trigonal e é conhecido como quartzo- α ou quartzo baixo. É componente comum da maioria dos solos e rochas. Areias e arenitos podem ser compostos por mais de 95% de quartzo. Em algumas operações industriais, tal como na produção de cerâmica, o quartzo é essencial para os produtos. Nas rochas ornamentais, o quartzo é um componente da rocha e não pode ser separado⁽⁵⁴⁾.

b) Cristobalita e Tridimita

A cristobalita é um mineral típico das rochas vulcânicas que pode ocorrer em cavidades, muitas vezes em associação metaestável com a tridimita. Tanto a tridimita como a cristobalita são polimórficos de SiO₂ de alta temperatura, com faixas de estabilidade variando de 870° a 1470°C para a tridimita e de 1470° a 1728°C para a cristobalita. Esta última pode ser encontrada em esferólitos ocos (litofisa), em obsidianas e em riolitos, traquitos, andesitos, dacitos e basaltos olivínicos. Também pode ser encontrada em arenitos que sofreram metamorfismo térmico, em xenólitos de arenitos (em rochas basálticas) ou em outras rochas básicas, nas quais o arenito foi convertido em buchito^(14,54,55).

A ocorrência típica da tridimita dá-se em rochas vulcânicas ácidas, tais como riolitos, obsidianas, traquitos, andesitos e decitos. Nessas rochas, a tridimita encontra-se freqüentemente em cavidades e pode estar associada com minerais, como a sanidina e, menos freqüentemente, com a augita ou a faialita.

A cristobalita e a tridimita podem ser produzidas em processos industriais nos quais o quartzo ou a sílica amorfa são aquecidos a alta temperatura, como no processamento de refratários e cerâmicas, processos de fundição ou na produção de carbetos de silício⁽⁵³⁾.

3.4.1 Poeira contendo sílica livre cristalizada

Devido ao amplo uso de materiais contendo quartzo, trabalhadores são expostos à sílica livre cristalizada em uma grande variedade de indústrias e ocupações, entre as quais está o corte de rochas em marmorarias.

O risco de desenvolvimento da silicose varia com diversos fatores, como a concentração de sílica cristalina na fração respirável, o tempo de exposição, as propriedades de superfície de cada polimórfico e a suscetibilidade do indivíduo⁽⁵⁶⁾.

A silicose está claramente relacionada com a poeira respirável⁽⁵⁷⁾. Entretanto, partículas que se depositam nas vias aéreas condutivas podem causar bronquite e/ou fibrose nessas vias e, depois de serem removidas pelo mecanismo mucociliar e engolidas, podem contribuir para uma possível incidência de câncer de estômago⁽⁵⁸⁾. Esses resultados foram observados em estudos de *cohorts* de expostos à poeira mineral⁽⁵⁹⁾. Doenças associadas com partículas depositadas nas vias aéreas de condução podem ser mais bem avaliadas com amostradores que seguem a convenção de amostragem para poeira torácica do que com a convenção de poeira respirável⁽⁵⁶⁾.

Nas situações mais comuns, os trabalhadores não estão expostos à sílica pura. Outros componentes além da sílica estão presentes na poeira, principalmente os silicatos^(8,9). Essas misturas são freqüentes nas poeiras produzidas durante operações de corte ou

quebra de rochas, areia, concreto e alguns minerais. Os riscos associados com a inalação de sílica cristalina em misturas de poeira também dependem das propriedades dos outros constituintes da mistura da poeira. Esses outros componentes podem ser importantes se diluírem ou modificarem o efeito da sílica ou se eles próprios exercerem efeitos no sistema respiratório⁽⁹⁾.

3.4.2 Sílica nas rochas ornamentais

O quartzo é um importante mineral constituinte das rochas ígneas, como o granito e o pegmatito. Por serem extremamente resistentes a alterações mecânicas e químicas, os grãos de quartzo, produzidos pela quebra e desgaste natural de rochas, podem se acumular durante muitas eras. A partir daí, podem formar rochas sedimentares (como os arenitos) ou se associar com feldspato e moscovita, formando outras rochas⁽⁸⁻¹⁴⁾.

Por isso, a execução de trabalhos em marmoraria, onde freqüentemente se trabalha com corte e polimento de granito, mármore, ardósia e outras pedras decorativas, está entre as atividades em que a geração de poeira é intensa e o risco de se adquirir silicose e outras doenças do sistema respiratório é muito grande.

A Tabela III.4 mostra uma relação de doenças respiratórias resultantes da exposição ocupacional às poeiras minerais originadas por alguns tipos de rochas.

Tabela III.4: Materiais naturais associados com doenças^(8,36)

Tipo de Rocha	Componentes/usos	Doenças Respiratórias
Granito Quartzito Arenito Ardósia	Todos com grandes quantidades de quartzo	Silicose; sílico-tuberculose; silicose nodular; fibrose; alargamento e endurecimento dos nódulos linfáticos; nódulos silicóticos no baço.
Pedra calcária Mármore Dolomita	Calcita + quartzo Dolomita + quartzo Dolomita	Bronquite; enfisema; cicatrizes pulmonares; aumento da toxicidade quando calcinada para objetivos industriais; queimaduras cáusticas; dermatites; ulceração da pele; danos à conjuntiva e à córnea.
Sílica: Quartzo, Cristobalita, Tridimita, Calcedônia, Flint	Abrasivo; Usos industriais	Silicose; sílico-tuberculose; fibrose pulmonar progressiva. Cristobalita e tridimita são mais fibrogênicas que quartzo.

3.5 Silicose

São conhecidos diversos tipos de manifestações respiratórias associados com a inalação, retenção e reação tecidual de poeiras minerais^(35,52,54). Essas poeiras produzem diferentes efeitos no pulmão. Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), as pneumoconioses são definidas como "doenças pulmonares causadas pelo acúmulo de poeira nos pulmões e a reação tissular à presença dessas poeiras"⁽⁶⁰⁾.

As pneumoconioses provavelmente existem desde que o homem começou a escavar a crosta terrestre⁽⁶¹⁾. De todas as pneumoconioses, a silicose é a doença que está relacionada com o maior número de vítimas, afetando trabalhadores de vários ramos de atividade.

A silicose é um tipo de pneumoconiose causada pela inalação de poeiras contendo sílica livre cristalizada em suas principais formas: quartzo, cristobalita ou tridimita⁽⁶⁰⁻⁶³⁾. É uma doença pulmonar incurável, com evolução progressiva e irreversível, que pode levar à incapacidade para o trabalho, invalidez, aumento da suscetibilidade à tuberculose e, com frequência, ter relação com a causa de óbito do paciente afetado. É uma fibrose pulmonar nodular causada pela inalação de poeiras contendo partículas finas de sílica livre cristalizada e, em geral, pode levar de alguns anos a décadas para se manifestar. A doença progride mesmo quando a exposição é interrompida⁽⁵³⁻⁵⁹⁾.

Materiais contendo pequenas quantidades de sílica cristalina também podem ser perigosos se forem usados de maneira que produzam altas concentrações de poeira. Exposições extremamente altas estão associadas com tempo de latência mais curto e progressão mais rápida da doença^(58,59,62).

A silicose é indiscutivelmente reconhecida como sendo uma doença ocupacional. Apesar de ser uma das doenças ocupacionais mais antigas, tendo seus primeiros relatos no século XIX, a silicose ainda mata milhares de trabalhadores todo ano no mundo inteiro. Milhares de novos casos são diagnosticados a cada ano em várias partes do

mundo. Há predominância nos países em desenvolvimento, onde são muito freqüentes as atividades que envolvem a exposição à sílica^(57,59).

O desenvolvimento da doença é dependente de vários fatores de risco^(58,62), como:

- tempo de exposição;
- dimensão das partículas;
- concentração de poeira respirável;
- composição mineralógica da poeira respirável;
- integridade do sistema de transporte mucociliar e das respostas imunológicas;
- concomitância de outras doenças respiratórias;
- hiper-reatividade brônquica;
- resposta orgânica individual.

As partículas menores que 10 µm podem penetrar nos alvéolos, de onde os macrófagos tentam removê-las. Entretanto, as partículas de sílica livre cristalizada causam a quebra e a morte dos macrófagos. O tecido pulmonar reage pelo desenvolvimento de nódulos fibróticos e cicatrizes ao redor das partículas de sílica retidas. A formação de grande número de cicatrizes após exposição prolongada torna a superfície alveolar menos elástica, diminuindo a capacidade respiratória^(62,63).

3.5.1 Tipos de silicose

A forma e severidade na qual a silicose se manifesta depende do tipo e duração da exposição à poeira de sílica cristalina. Assim, um trabalhador pode desenvolver um dos três tipos de silicose^(53,57), dependendo da concentração de sílica na fração respirável do ar, a saber:

a) silicose crônica

A silicose crônica normalmente ocorre após 10 anos ou mais de exposição a baixas concentrações de sílica cristalina. Essa é a forma mais comum da doença e, infelizmente, pode levar muitos anos sem ser detectada. Algumas vezes 20 anos podem

se passar, desde o início da exposição, antes que uma anormalidade apareça na radiografia de tórax⁽⁶⁴⁾. Estudos epidemiológicos mostram que a silicose crônica pode se desenvolver ou progredir mesmo após encerrada a exposição.

b) silicose acelerada

Essa forma de silicose ocorre, tipicamente, após um período de 5 a 10 anos de exposição em concentrações de poeiras de moderadas a altas. É freqüentemente disparada quando trabalhadores têm contato direto com rochas rompidas ou fraturadas que contenham concentrações altas de partículas de sílica.

c) silicose aguda

A forma aguda da silicose é a mais danosa, porque envolve os mais altos níveis de exposição. Os sintomas iniciais podem começar em algumas semanas após a primeira exposição ou demorar até 4 ou 5 anos para se manifestarem. A exposição é agravada pela presença de partículas recém-fraturadas com superfícies altamente reativas.

3.5.2 Outras doenças associadas com a exposição à sílica

Existem doenças que ocorrem sempre em associação com a silicose. Uma freqüente causa de morte em pessoas com silicose é a tuberculose pulmonar (sílico-tuberculose). Outras causas de morte são a insuficiência respiratória (devido à fibrose massiva), o enfisema pulmonar e a falha cardíaca. A obstrução crônica das vias aéreas, as doenças auto-imunes (ex. escleroderma, artrite reumatóide, lupus eritematoso) e as doenças renais também têm sido freqüentemente associadas com a exposição à sílica⁽⁶⁵⁻⁶⁶⁾.

É difícil determinar com clareza qual seria o nível mínimo de exposição em que não se observe nenhum efeito adverso à saúde do trabalhador. Essa dificuldade é devida, principalmente, aos fatores de confusão causados por essas doenças associadas à silicose, além do hábito de fumar, muito comum entre os trabalhadores⁽⁶⁶⁾.

3.5.3 Câncer de pulmão

O interesse pelos efeitos na saúde causados pela exposição ocupacional às poeiras minerais foi focado primeiramente na fibrose pulmonar. Somente mais tarde, a atenção se voltou para o câncer de pulmão. Nos países onde foram adotadas e implantadas medidas mais efetivas para o controle da poeira, os níveis de exposição tornaram-se mais baixos. A silicose começou a progredir mais lentamente e de maneira menos fatal, daí, as pessoas afetadas puderam sobreviver por mais tempo antes de desenvolver câncer^(66,67).

A possibilidade de que a exposição à sílica poderia estar associada com o câncer de pulmão foi levantada pela primeira vez durante os anos 50 e 60. Mas os estudos, geralmente, não foram bem controlados e a evidência da relação entre o câncer de pulmão e a exposição à sílica não foi convincente, devido a freqüente presença de cancerígenos conhecidos nos locais de trabalho como fatores de confusão⁽⁶⁸⁾. Os mais importantes deles são: asbesto, hidrocarbonetos policíclicos, arsênico, níquel, crômio e radônio. Considerou-se não apenas que esses agentes pudessem estar presentes, especialmente em ambientes de mineração, mas que trabalhadores com silicose pudessem ter sido expostos a eles antes ou depois de seu trabalho com sílica⁽⁶⁵⁾.

Com o recuo da incidência de tuberculose, a combinação fatal com a silicose foi diminuída. Entretanto, o conhecimento sobre o potencial carcinogênico do fumo mostrou um risco adicional para trabalhadores expostos a poeiras minerais⁽⁶⁵⁾.

Em 1996, a International Agency for Research on Cancer (IARC), agência da Organização Mundial da Saúde (OMS), ao revisar estudos experimentais e epidemiológicos publicados sobre câncer em animais e trabalhadores expostos à sílica, concluiu que “há suficiente evidência em humanos para a carcinogenicidade da sílica cristalina inalada na forma de quartzo ou cristobalita a partir de fontes ocupacionais”⁽⁶⁹⁾.

Casos de câncer mais bem definidos são encontrados em trabalhadores de indústrias caracterizadas por tratamento com fornos. Como exemplos podem ser citadas as indústrias de cerâmicas (temperaturas baixas a moderadas), a fabricação de refratários (altas temperaturas) e a calcinação de terras de diatomáceas (temperatura intensa). A literatura⁽⁶⁵⁾ sugere que o tratamento com alta temperatura deva ser considerado como um fator importante. É conhecido que alguma cristobalita possa ser produzida, a partir da transformação do quartzo, nos processos de indústrias cerâmicas, de refratários e de conversão de diatomáceas.

Apesar de inconcludentes, diversos estudos registram a associação da exposição à sílica com outros tipos de cânceres, tais como de faringe ou nasofaringe, das glândulas salivares, de fígado, dos ossos, de pâncreas, de estômago, dos sistemas linfático e hematopético, dos intestinos, entre outros⁽⁷⁰⁾.

No Brasil, estima-se que existam cerca de seis milhões de trabalhadores expostos à sílica⁽⁷¹⁾. A mortalidade por câncer de pulmão na população em geral é da ordem de 10.000 pessoas por ano, porém, não há dados suficientes para estimar o número de casos de câncer de pulmão em associação à exposição à sílica⁽⁷²⁾. A literatura internacional indica que os trabalhadores expostos à sílica possuem de duas a três vezes mais risco de contrair câncer de pulmão quando comparados com a população em geral⁽⁷³⁾.

3.5.4 Estudos envolvendo a exposição ocupacional à sílica em trabalhos com rochas

Vários estudos publicados no mundo todo concordam que a pneumoconiose dos trabalhadores que executam atividades com rochas é causada pela presença da sílica como um de seus principais componentes. A seguir, são citados alguns desses estudos, a título de exemplo.

O primeiro limite de exposição ocupacional para poeiras contendo sílica livre cristalizada, estabelecido pela ACGIH, foi recomendado com base nos estudos realizados a partir da indústria do granito de Vermont⁽³⁵⁾. Dados de concentração

ambiental e de avaliações de saúde de trabalhadores foram acumulados por um período de aproximadamente 50 anos. Esses estudos estenderam-se desde 1924, com as pesquisas de Russel e colaboradores^(74,75), até as pesquisas registradas por Theriault e colaboradores^(76,77) no período 1969-72.

Nos estudos anteriores a Theriault e colaboradores^(76,77), as concentrações de poeira suspensa no ar eram expressas em milhões de partículas por pé cúbico (mppcf), obtidas com impingers. As contagens de partículas eram realizadas por microscopia ótica. Theriault e colaboradores introduziram o uso de amostragens sobre filtros, com dispositivos seletores por tamanho de partícula, da maneira como são realizadas hoje. A massa de poeira coletada passou, então, a ser determinada pela pesagem do filtro antes e depois da coleta de poeira (análise gravimétrica).

Esses estudos foram importantes, pois os efeitos associados à saúde dos trabalhadores de granito de Vermont forneceram a principal contribuição usada como base para os limites de exposição atuais para quartzo e outros polimórficos de sílica livre.

Outro estudo envolvendo exposição ao granito foi o de Koskela e col.^(78,79,80), que acompanhou 1.026 trabalhadores de minerações da Finlândia no período de 1940 a 1989. Os trabalhadores estudados estavam envolvidos com operações de extração e processamento de granito. A média geométrica das concentrações de poeira total variava de 1,7 a 39,8 mg/m³, e a concentração de quartzo variava de 1,0 a 1,5 mg/m³. Os resultados do estudo indicaram que exposição à poeira de granito seria um fator etiológico e patológico para iniciação ou promoção de câncer de pulmão, câncer do trato gastrointestinal e algumas doenças crônicas extrapulmonares não malignas.

Algranti⁽⁸¹⁾ estudou os efeitos da exposição à poeira em ex-trabalhadores da mineração de ardósia de North Wales. Além da silicose, decorrente da exposição à poeira contendo cerca de 20% de quartzo, são mencionadas outras doenças relacionadas com a poeira inalada, como tuberculose, câncer de pulmão e artrite reumatóide. Também é citada extensa bibliografia, registrada entre 1895 e 1980, sobre a exposição à sílica de trabalhadores das minerações de ardósia da Grã Bretanha (North Wales e Cornwall),

França (Ardennes), Itália (Ligúria), Bélgica, Alemanha e Estados Unidos (Maine, Vermont, Pennsylvania e Maryland). Nesses estudos, os teores de sílica na fração respirável variavam de 10 a 30%.

3.5.5 Silicose no Brasil

No Brasil, a silicose caracteriza-se como a pneumoconiose mais comum. A primeira publicação brasileira de estudo de casos data de 1939: Anatomia Patológica da Silicose Pulmonar, realizada por Mignone^(82,83). Entre 1940 e 1952, Teixeira e colaboradores^(84,85,86) publicaram estudos sobre silicose e sílico-tuberculose na mineração de ouro de Minas Gerais. Os estudos envolveram a determinação da concentração de poeira no ar^(84,85) e o acompanhamento das radiografias de 1.277 operários com o diagnóstico de 304 casos de silicose de diferentes graus.

Estudos mais recentes, em setores produtivos de algumas regiões do país, têm demonstrado tanto a prevalência como o registro e o diagnóstico de silicose. Embora esses dados sejam fragmentários, expressam a situação em diferentes tipos de atividades e permitem algumas generalizações para processos produtivos similares.

Como exemplos, podem ser citados os estudos sobre silicose em trabalhadores das indústrias cerâmicas do Estado de São Paulo, que tiveram início no final dos anos 70^(87,88,89) com seu auge na década de 80. Nesse período, o grande destaque foi o trabalho realizado pela FUNDACENTRO^(90,91), culminando em ações com a mobilização da cidade de Pedreira para a resolução do problema^(92,93,94). Outros estudos dignos de citação são sobre silicose em cavadores de poços do Ceará^(95,96), silicose em trabalhadores da indústria da mineração^(97,98), jateamento de areia na indústria naval^(99,100), fundições^(101,102), entre outros.

É imensa a lista de publicações de livros, periódicos, cursos e cartilhas contendo informações gerais sobre o assunto. Muitas dessas informações estão espalhadas por diversas entidades de todo o Brasil que, de alguma maneira, estiveram envolvidas com a

problemática da silicose. Mas, apesar desses vários estudos, são poucos e insuficientes os dados estatísticos sobre os casos de doentes e sobre a população de risco.

Observa-se uma acentuada tendência de aparecimento de casos novos, cujo significado deve ser creditado mais ao aumento de diagnósticos decorrentes de busca ativa de casos do que propriamente ao aumento do problema. Essas características não são típicas apenas dos países em desenvolvimento. Devido aos fatores de confusão para o diagnóstico da doença, à necessidade de conhecimentos específicos por parte de médicos, à existência de atividades informais, entre outros, essa deficiência também ocorre em países desenvolvidos⁽⁵⁷⁾.

Com relação aos estudos de casos de silicose em trabalhadores de marmorarias, foi encontrada uma referência específica de estudo de avaliação médica, datada de 1997⁽¹⁰³⁾, e um estudo semelhante ao do Projeto Marmoristas⁽³⁾. Este último tem o nome de Projeto Especial Marmorarias e está sendo desenvolvido, desde 2000, pela Coordenação de Saúde do Trabalhador da Secretaria de Saúde de Belo Horizonte⁽¹⁰⁴⁾ com a assessoria de técnicos da FUNDACENTRO/MG.

Avaliando-se a escassez de informações disponíveis na literatura, em vista da proposta de um novo trabalho de tese de doutorado, constatou-se a existência de importantes questões em aberto a respeito do problema da silicose nas marmorarias brasileiras. Isso ressalta a necessidade de novos levantamentos estatísticos que permitam correlacionar precisamente o ambiente de trabalho com as informações encontradas durante as avaliações médicas dos trabalhadores.

Assim, espera-se que este estudo contribua para o desenvolvimento científico deste tema, bem como permita apontar soluções adequadas para a correção desse grave problema no ramo de marmorarias.

3.5.6 Limites de Exposição Ocupacional

Diversos estudos epidemiológicos recentes, citados pelo NIOSH⁽⁵⁷⁾ e IARC⁽⁶⁹⁾, indicam que os limites de exposição ocupacional (LEO) recomendados até 1999 não eram suficientes para prevenir a ocorrência da silicose crônica. O NIOSH estima que pelo menos 1 em 100 trabalhadores desenvolverão alterações radiológicas, durante uma vida laboral de 40 a 45 anos, com a exposição a concentrações de sílica cristalina respirável nos limites recomendados. Ou seja, $REL^1 = 0,05 \text{ mg/m}^3$ para quartzo e cristobalita (recomendado pela NIOSH para jornadas semanais de trabalho de 40 horas) e $PEL^2 = [10 \div \%SiO_2 + 2] \text{ mg/m}^3$ para quartzo (recomendado pela OSHA e semelhante ao recomendado pela legislação brasileira com correção para jornada de 48 horas semanais), sendo o PEL para cristobalita a metade do valor calculado a partir da fórmula para o quartzo.

Os LEOs do NIOSH e da OSHA permanecem os mesmos até o momento. O NIOSH não pretende recomendar novos limites até que os métodos de amostragem e análise disponíveis sejam capazes de determinar valores mais baixos com precisão aceitável.

No período de 1986 a 1999, a ACGIH recomendou os seguintes LEOs para sílica cristalina respirável: $TLV-TWA^3 = 0,10 \text{ mg/m}^3$ para quartzo e $0,05 \text{ mg/m}^3$ para cristobalita, durante exposições em jornadas de trabalho de 8 horas diárias ou 40 horas semanais. Em 2000, esses LEOs foram revisados passando para $0,05 \text{ mg/m}^3$ (com indicação de potencial carcinogênico) para quartzo, cristobalita e tridimita. Nova alteração está sendo sugerida no item “Notice of Intended Changes” da publicação de 2004 do livreto “Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices”. A notificação de intenção sugere que seja adotado o valor de $TLV-TWA = 0,025 \text{ mg/m}^3$ para quartzo e para cristobalita na fração respirável da poeira, porém essa proposta não foi aceita devido às limitações das técnicas analíticas utilizadas atualmente.

¹ REL = recommended exposure limit

² PEL = permissible exposure limit

³ TLV-TWA = threshold limit values/time weighted average

No Brasil, os LEOs para sílica livre cristalizada são fixados por meio da Norma Regulamentadora N° 15 - Anexo 12: “Limites de Tolerância para Poeiras Minerais”⁽¹⁰⁵⁾, estabelecida pela Portaria N° 3214 de 08 de junho de 1978.

A lista de limites de tolerância brasileiros foi baseada nas recomendações da ACGIH publicadas em 1974, corrigidos para a jornada de trabalho de 48 horas, vigente no Brasil em 1978. A maioria dos limites dessa lista permanece sem revisão até hoje, sem considerar que diversas substâncias passaram a ter indicação de potencial carcinogênico⁽⁶⁹⁾ como é o caso da sílica.

Enquanto o LEO recomendado pela ACGIH⁽⁵²⁾, para sílica livre cristalizada na forma de quartzo na fração respirável, está caminhando para a segunda revisão em 5 anos, o limite brasileiro⁽¹⁰⁵⁾ ainda é calculado por meio da seguinte expressão:

$$LT = \frac{8}{\% \text{ SiO}_2 + 2} \quad (3.5)$$

sendo LT = limite de tolerância (denominação antiga correspondente ao atual LEO)
% SiO₂ = teor de quartzo na amostra de poeira

O LT calculado pela expressão (3.5) corresponde a aproximadamente duas vezes o LEO da ACGIH até 2004.

3.6 Políticas de ação para combate a silicose

Não há cura para a silicose, por isso, é de consenso geral que políticas de saúde com relação a essa doença devam ser focadas na prevenção⁽⁶⁶⁾. A principal maneira de prevenção da silicose é impedir que o trabalhador inale a poeira contendo sílica. Na ausência de tratamento específico efetivo para a doença, a única maneira de proteger a saúde dos trabalhadores é o controle da exposição à poeira^(57,106).

No caso da silicose, além do foco sobre a prevenção da doença, ajustes na legislação devem ser feitos para tornar o limite de exposição ocupacional mais adequado e a fiscalização mais eficiente. Estudos sobre medidas de controle de baixo custo e modificação de práticas de trabalho também devem ser incentivados. Com esses objetivos, várias ações de âmbito nacional e internacional vêm sendo desenvolvidas.

3.6.1 Ação internacional: Programa Global de Eliminação da Silicose

Ao longo dos anos, a Organização Internacional do Trabalho (OIT) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) têm dado especial atenção para a prevenção da silicose. Para promover uma vasta cooperação internacional nesse campo foi proposto em 1995 um programa conjunto para a eliminação da silicose: “ILO/WHO Programme on Global Elimination of Silicosis”⁽¹⁰⁷⁾.

O objetivo imediato do Programa Internacional OIT/OMS é incentivar os países a desenvolverem seus próprios Programas Nacionais de Eliminação da Silicose, na tentativa de reduzir significativamente a taxa de incidência de silicose até o ano de 2010.

Esse programa promove parcerias entre países industrializados e países em desenvolvimento, por meio da troca de informações técnicas e experiências acumuladas nas últimas décadas em ações de prevenção primária de combate à silicose. A longo prazo, o programa propõe-se a união de esforços entre todos os países membros, visando eliminar a silicose até o ano de 2030.

3.6.2 Ação nacional: Programa Nacional de Eliminação da Silicose

No Brasil, as ações para a elaboração do Programa Nacional de Eliminação da Silicose (PNES)⁽⁴⁾ iniciaram-se em dezembro de 2000 com o incentivo da OIT/Brasil. O PNES propõe o desenvolvimento de um conjunto de ações intersetoriais e multidisciplinares que atendam também aos objetivos do Programa Internacional proposto pela

OIT/OMS⁽¹⁰⁷⁾. Esse conjunto de ações engloba desde a redução da taxa de incidência da silicose até a sua eliminação como problema de saúde ocupacional.

Para tanto, está sendo incentivada a cooperação entre agências governamentais, organizações de empregadores e trabalhadores, profissionais de segurança e saúde no trabalho. A finalidade da cooperação é construir uma infra-estrutura sólida no país para prevenir e controlar a exposição às poeiras contendo sílica e, assim, prevenir a silicose.

O PNES visa, ainda, fomentar a vontade política, o compromisso e a colaboração intersetorial. Deverá promover programas de capacitação e educação dos trabalhadores e campanhas de disseminação de informações. Atenção especial será dada para a harmonização de critérios de diagnóstico, utilizando a Classificação Internacional de Radiografias da OIT⁽⁶⁴⁾, a fim de melhorar a detecção precoce da silicose e facilitar comparações epidemiológicas.

O PNES tem como objetivo geral, à semelhança do Programa Global OIT/OMS, reduzir significativamente as taxas de incidência da doença até o ano 2010 e eliminar a silicose como problema de saúde pública até o ano de 2030.

3.6.3 Ação setorial: Projeto Marmoristas

Um exemplo de ação setorial de combate à exposição ocupacional às poeiras contendo sílica livre cristalizada em marmorarias é o Projeto Marmoristas⁽³⁾.

O Projeto Marmoristas foi iniciado em 1999 por iniciativa do Ministério Público do Estado de São Paulo, por meio do Setor de Meio Ambiente e Prevenção de Acidentes da Promotoria de Justiça de Acidentes de Trabalho da cidade de São Paulo e da Prefeitura Municipal de São Paulo. O projeto contou com a cooperação técnica-operacional dos Centros de Referência em Saúde do Trabalhador (CRST) e da Secretaria Municipal da Saúde de São Paulo (SMS-SP), com a assessoria técnica da FUNDACENTRO e com a participação do Departamento de Pneumologia do Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (INCOR/FMUSP).

Entre os principais objetivos do Projeto Marmoristas estavam:

- a) a proposição de uma ação global, envolvendo todas as empresas do ramo de marmorarias da cidade de São Paulo, para a eliminação dos riscos ocupacionais, em especial riscos referentes a silicose, perda auditiva e problemas ósteo-musculares;
- b) a busca de uma disciplina normativa, obrigando a indicação de instituições e profissionais habilitados para a realização de exames de teleradiografia de tórax, segundo o padrão da OIT⁽⁶⁴⁾ (Quadro II, da NR-7)⁽³³⁾;
- c) a busca de uma disciplina normativa, estabelecendo a obrigatoriedade da elaboração e manutenção de um cadastro de trabalhadores expostos à sílica.

O projeto foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira, as marmorarias foram inspecionadas e seus trabalhadores cadastrados para acompanhamento. Durante as inspeções foram recomendadas correções de irregularidades e fornecidas orientações básicas para controle da exposição à poeira e ruído, entre outras. Na segunda etapa, ocorrida 8 meses após a primeira, foram verificados o cumprimento das recomendações.

Segundo dados divulgados em outubro de 2002, foram cadastrados 2.440 trabalhadores de 312 marmorarias inspecionadas no decorrer das duas fases do projeto, sendo 2.269 homens. As marmorarias estavam distribuídas pelas regiões de abrangência dos Centros de Referência em Saúde do Trabalhador da Cidade de São Paulo. Esses dados foram apresentados no Relatório Preliminar sobre o Cadastro de Trabalhadores, como parte do Projeto Marmoristas.

Na primeira fase do Projeto Marmoristas, de 954 trabalhadores radiografados até novembro de 2001 (43% do total cadastrado) foram detectados 159 casos (16,6%) com alteração nas radiografias de tórax, 9 casos de silicose confirmada (0,9%) e 786 trabalhadores (82,4%) ainda sem evidências de alterações radiológicas compatíveis com pneumoconioses.

Até a segunda fase haviam 14 casos de silicose confirmados, clínica e radiologicamente. A proporção de trabalhadores com radiografia alterada foi maior a partir de 6 anos de trabalho, sendo que nesse período começam a surgir os casos confirmados de silicose.

Em consequência dessas informações, algumas atividades foram iniciadas e estão sendo incentivadas para informar, conscientizar e orientar trabalhadores e empregadores do ramo de marmorarias. Entre elas, podem ser citadas:

- realização de um seminário técnico, ocorrido em 30/10/2001, patrocinado pelos sindicatos patronal e dos trabalhadores, com a colaboração da FUNDACENTRO, em que foram apresentadas pelos próprios empresários algumas soluções e alternativas viáveis, tanto do ponto de vista econômico como técnico para o equacionamento dessa questão;
- reuniões de negociação com fabricantes de máquinas manuais de corte e acabamento de rochas, para inclusão de dispositivos de segurança e de captação ou umidificação da poeira gerada durante a utilização dessas ferramentas, coordenadas pela Delegacia Regional do Trabalho – Subdelegacia Regional da Zona Norte de São Paulo (DRT/ZonaNorte);
- proposição de um projeto piloto, para avaliação ambiental e verificação de eficiência de medidas de controle adotadas pelas marmorarias indicadas pelos CRST, dentro do projeto da FUNDACENTRO “Desenvolvimento de Metodologias para Avaliação da Exposição Ocupacional a Poeiras”.

O Ministério Público considera a exposição do trabalhador ou de outras pessoas à poeira contendo sílica como uma atividade criminosa e, independente do dano, pode ser considerada um ato ilícito que envolve risco de morte e, por isso, é passível de responsabilização civil e criminal. Por esse motivo, as marmorarias inspecionadas foram notificadas a corrigir irregularidades e cerca de 80 delas estão sob risco de responderem a inquéritos civil e criminal por não cumprirem as determinações da fiscalização.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a descrição dos procedimentos experimentais, métodos e instrumentos utilizados para a coleta, preparação e medição da poeira gerada durante as operações de trabalho mais comuns nas atividades de beneficiamento de rochas ornamentais em marmorarias. Os métodos e procedimentos utilizados consideraram os cuidados necessários para que a avaliação dos ambientes de trabalho fosse representativa das condições de exposição dos trabalhadores, refletindo também a penetração e deposição das partículas nas várias regiões do sistema respiratório humano.

Os instrumentos utilizados possibilitaram a coleta e medição da poeira em frações de tamanho de partícula que possuem relação direta com efeitos à saúde, em especial ao sistema respiratório humano. As amostras coletadas foram analisadas utilizando métodos convencionais aplicáveis a material particulado.

4.1 Seleção das Marmorarias

As condições de trabalho em marmorarias da cidade de São Paulo foram inicialmente verificadas durante as inspeções realizadas, no período de 1999 a 2001, pelos Centros de Referência em Saúde do Trabalhador (CRST), participante do Projeto Marmoristas⁽³⁾. As marmorarias selecionadas para os estudos experimentais de avaliação ambiental tiveram como base as informações desse levantamento.

O critério para a seleção das marmorarias levou em consideração a execução de atividades consideradas como representativas das situações de trabalho mais comuns na maioria das marmorarias da cidade de São Paulo e a existência de algum tipo de iniciativa de implantação de medida de controle de caráter coletivo para a redução da exposição à poeira. Por meio desse critério, pretendia-se observar as soluções de controle, adotadas para a mitigação do problema, e verificar seu desempenho em situações reais de trabalho. A comparação das soluções adotadas possibilitaria a troca de experiências entre marmorarias e a recomendação das soluções mais eficazes.

Dentre as marmorarias inspecionadas durante a vigência do Projeto Marmoristas, poucas eram as que já haviam adotado medidas de controle de caráter coletivo. Entre elas, foram selecionadas 10 empresas para a execução dos trabalhos experimentais de campo.

As marmorarias foram visitadas para observação e obtenção de informações complementares sobre métodos, organização do trabalho e processos utilizados durante as atividades típicas desse ramo de atividade. A partir das observações preliminares, foram planejadas as estratégias de amostragem adequadas para as coletas destinadas às determinações da concentração de poeira e às medições dos tamanhos das partículas suspensas no ar.

4.1.1 Descrição dos ambientes de trabalho nas marmorarias

a) Aspectos gerais

As marmorarias selecionadas para avaliação ambiental possuíam um aspecto geral bastante semelhante. Todas apresentavam construções de alvenaria com paredes de blocos de cimento e telhado metálico ou de fibro-cimento, geralmente sustentado por vigas de estrutura metálica com pé direito alto. Algumas eram construções semi-abertas, com cobertura somente sobre os setores de corte e acabamento. Outras eram totalmente fechadas com pequenas janelas basculantes ou frestas de ventilação no alto das paredes, quase junto ao telhado.

As bancadas de trabalho do setor de acabamento eram de alvenaria, de estrutura metálica fixa ou de madeira robusta. Os tampos das bancadas eram, geralmente, chapas de granito, mármore, ardósia ou madeira. Essas bancadas eram posicionadas de maneira alinhada com distância média de 1,5 a 2,0 metros entre elas, mas era comum a utilização de mesas de apoio improvisadas sobre cavaletes de madeira, de ferro ou sobre tambores de aço. Os sistemas de exaustão, quando existiam, estavam mal posicionados e, na maioria das vezes, não atendiam a todas as bancadas de trabalho.

As ferramentas manuais mais utilizadas no setor de acabamento eram a lixadeira manual elétrica, a serra manual elétrica (também conhecida como serra-mármore) e o esmeril reto (também conhecido como chicote). Algumas marmorarias possuíam poltrizes manuais e máquinas de corte automáticas (tipo serra-ponte).

Na maioria das marmorarias o piso era rústico, sem inclinação suficiente para o escoamento e a drenagem adequada da água e da lama geradas no setor de corte. Apesar de exigida pela fiscalização, a lavagem diária do piso e das bancadas de trabalho não era executada rigorosamente. Em geral, era executada semanalmente.

Os trabalhadores do setor de acabamento a seco utilizavam máscaras descartáveis como proteção contra a poeira, mas nem sempre essas máscaras eram de boa qualidade ou possuíam Certificado de Aprovação (CA) expedido por órgão do Ministério do Trabalho e Emprego. Os trabalhadores também não recebiam orientação sobre a colocação, o uso correto e a conservação das máscaras. No setor de corte, eram utilizados aventais de plástico e botas de borracha como proteção contra a umidade. Vários desses trabalhadores dispensavam o uso da máscara contra poeira por julgarem desnecessário para a sua atividade, uma vez que o trabalho era executado a úmido.

A maioria das empresas possuía documentos que comprovavam o cumprimento da legislação quanto à realização do PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais)⁽³²⁾, porém esse programa não funcionava na prática. Algo semelhante acontecia com o PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional)⁽³³⁾; os trabalhadores eram submetidos aos exames exigidos por lei, mas nenhuma providência era tomada para proteger a saúde deles. Vários trabalhadores não tinham conhecimento dos resultados de seus próprios exames.

A jornada de trabalho era de 40 horas semanais. A maioria das marmorarias visitadas dividia o turno de trabalho em dois intervalos de 15 minutos para descanso ou lanche, sendo um durante a parte da manhã e outro à tarde, além da pausa para almoço.

b) Características do processo produtivo

As marmorarias trabalhavam sob o sistema de encomendas, sendo que a produtividade variava muito durante o ano. Os principais tipos de rochas trabalhadas nas marmorarias visitadas eram o mármore e o granito, nacional ou importado. Mas, também, foram encontrados ardósia, quartzito e arenito, em pequena proporção.

O processo produtivo consistia do recebimento das chapas pré-polidas, corte das peças nas medidas solicitadas pelos clientes, desbaste e polimento de bordas e superfícies, montagem e acabamento final para embelezamento da peça.

Na maioria das vezes, as chapas eram descarregadas manualmente da carroceria de caminhões por grupos de 4 a 6 trabalhadores. Somente as marmorarias de grande porte possuíam sistema de ponte rolante para descarga e transporte de chapas. Uma vez no solo, as chapas eram apoiadas em “carrinhos de trilho” e deslocadas verticalmente para o pátio de estocagem onde eram depositadas em cavaletes triangulares.

Para a execução de projetos sob medida, as chapas eram levadas para corte em serras circulares de bancada. Nessas serras, o corte era executado a úmido. Quando se necessitava de partes menores da chapa, a rocha era esquadrejada no próprio cavalete triangular. Neste caso, a chapa era medida, riscada e cortada com uma serra manual elétrica, gerando grande quantidade de poeira. Algumas vezes, essa operação era executada com ligeira umidificação manual auxiliada por uma garrafa plástica (do tipo *pet*) contendo água. Essa umidificação destinava-se ao resfriamento do disco da serra manual.

Os recortes para colocação de cubas das pias eram executados em furadeiras de bancada a úmido ou com a serra-mármore, com ou sem umidificação manual. O acabamento interno do recorte era executado com o chicote, ao qual era acoplado um rebolo.

Após o corte, as peças eram levadas para as bancadas de acabamento onde eram executadas as operações de desbaste e lixamento para dar forma a bordas e cantos da peça. Essa etapa geralmente era feita a seco com a utilização de lixadeiras, às quais

eram acoplados rebolos, discos de desbaste ou lixas abrasivas de diversas granulometrias, de acordo com o tipo de acabamento desejado.

O processo de colagem para a montagem das peças compostas era realizado com uma mistura de cola especial para marmoraria, catalisador para secagem rápida e um corante. Antes da aplicação da cola, a superfície de contato era desbastada por meio de alguns talhos transversais feitos com uma serra-mármore. Após a secagem (de 15 a 20 minutos), eram efetuadas a remoção de rebarbas da cola seca e a correção da superfície por lixamento.

Após o lixamento mais fino, eram aplicados produtos à base de resinas, ceras e impermeabilizantes destinados à limpeza, correção de imperfeições (riscos, trincas, microfissuras), proteção e embelezamento das rochas. A etapa final consistia em polimento e lustro das peças. Os produtos aplicados expunham os trabalhadores a outros agentes químicos tóxicos que não foram objeto deste estudo, mas que contribuíam para o agravamento das condições de exposição a poeiras.

c) Fontes geradoras de poeira e localização dos postos de trabalho

As principais fontes geradoras de poeira eram as lixadeiras manuais. O movimento de vai-e-vem lateral e vertical, característico do acabamento das bordas e superfícies das rochas, propiciava o espalhamento da poeira em direção às vias respiratórias dos trabalhadores que manuseavam a ferramenta e em direção aos colegas de trabalho que executavam suas atividades nas proximidades. A serra-mármore também gerava grande quantidade de poeira, porém o tempo de duração das atividades com essa ferramenta era menor que com as lixadeiras.

As atividades de furação e de corte, tradicional ou com serra-ponte, eram tipicamente executadas a úmido com alimentação de água, especialmente destinada para essa finalidade. Em nenhuma das marmorarias visitadas havia segregação entre os setores de corte e acabamento, isso favorecia a socialização da exposição aos vários agentes presentes no ambiente. Além disso, os trabalhadores do setor de corte geralmente

circulavam pelo setor de acabamento a seco para levar peças cortadas ou orientar os colegas quanto à montagem das peças compostas.

Por se tratar de um trabalho artesanal, o trabalhador necessitava visualizar as condições da superfície das rochas após a operação de desbaste ou lixamento. Algumas empresas usavam ar comprimido para limpeza da peça, espalhando a poeira pelo ambiente. Outras usavam escovas ou pedaços de estopa. O ar comprimido e a escova também eram utilizados para limpar o excesso de poeira da roupa dos trabalhadores. Esse hábito contribuía para a suspensão da poeira depositada.

d) Funções, procedimentos e atividades

Para efeito da avaliação da exposição ocupacional à poeira, foram consideradas as seguintes funções básicas:

Acabador: recebe a peça já cortada no formato e tamanho definidos pelo projeto, executa o acabamento de bordas, a montagem da peça por meio de colagem, corrige imperfeições e dá o polimento final.

Serrador ou cortador: seleciona a chapa no pátio de estocagem, conforme a rocha já escolhida pelo cliente, faz a medição e o corte seguindo orientações do projeto solicitado. Seu trabalho exige conhecimento mais profundo sobre as variedades de rochas e sensibilidade para a combinação dos desenhos naturais formados pelas variações de tonalidade das rochas quando da execução do corte. Muitas vezes é ele que orienta os acabadores sobre a montagem das peças e tipos de acabamento.

Ajudante: auxilia no transporte de chapas e na movimentação de peças cortadas durante os processos de corte e acabamento, na remoção de retalhos e outros materiais e na execução de pequenas tarefas. Muitas vezes, o ajudante assume a tarefa de acabador durante ocasiões de pico de produção ou substitui um trabalhador ausente.

Encarregado: distribui as tarefas, orienta os trabalhadores na execução de suas tarefas e, muitas vezes, auxilia diretamente na montagem e acabamento de peças. Em alguns casos, o dono da marmoraria desempenha essa função.

4.2 Coleta das Amostras de Poeira

A partir da observação dos ambientes e processos de trabalho, pode-se perceber que a atenção devia ser voltada principalmente para o setor de acabamento a seco. Os trabalhadores desse setor estavam, provavelmente, expostos à maior quantidade de poeira, devido à posição típica de trabalho diretamente sobre as ferramentas elétricas manuais. Mesmo sem as ferramentas de trabalho em funcionamento, era possível localizar o ponto onde havia maior atividade geradora de poeira devido ao aspecto das paredes e do teto, geralmente, esquecidos na tentativa de ocultar o problema durante uma rápida visita.

Sem a implantação de medidas de controle, ou a adoção insuficiente dessas medidas, os trabalhadores de outros setores ou atividades, como os do setor de corte, ajudantes gerais e encarregados, também estavam expostos a essa poeira que se espalha por todo o ambiente não segregado da marmoraria.

Assim sendo, foram coletadas amostras nos dois principais setores produtivos das marmorarias (acabamento e corte a úmido), de maneira a determinar o nível de exposição dos trabalhadores e verificar o tamanho característico das partículas presentes em atividades de marmoraria.

A amostragem da poeira suspensa no ar dos ambientes das marmorarias foi realizada com base no procedimento técnico descrito na Norma de Higiene Ocupacional NHO-08: Coleta de Aerodispersóides Sólidos em Filtros de Membrana⁽¹⁰⁸⁾. Essa norma estabelece um procedimento padronizado para coleta de aerodispersóides sólidos em filtros de membrana e tem a finalidade de fornecer subsídios para a coleta de amostras representativas da exposição dos trabalhadores às poeiras presentes no ambiente de trabalho.

As amostras foram coletadas de maneira a permitir a observação das variações típicas decorrentes dos procedimentos geradores da poeira. Essas variações podiam ocorrer no mesmo dia de trabalho e entre os vários dias observados. Para isso, cada uma das marmorarias foi avaliada durante 5 a 6 horas/dia por 3 dias alternados (dia sim, dia não) da mesma semana de trabalho, correspondendo à observação de cerca de 70% da jornada de trabalho diária e semanal.

Durante esse período, foram coletadas amostras de material particulado para duas finalidades:

1. determinar as concentrações de poeira nas frações inalável, torácica e respirável, destinadas a avaliar o nível de exposição dos trabalhadores;
2. medir os tamanhos das partículas presentes no ar dos ambientes de trabalho, destinadas a verificar o tamanho característico das partículas em atividades de marmoraria.

4.2.1 Coletas para determinação das concentrações de poeira

Para avaliar a exposição dos trabalhadores por meio das concentrações de poeira nas frações inalável, torácica e respirável foram realizados dois tipos de amostragem:

- a) *Amostragem individual*: com o amostrador colocado na zona respiratória dos trabalhadores que desenvolviam atividades próximas de fontes geradoras de poeira, ou seja, principalmente dos acabadores, cortadores e ajudantes. Esse tipo de amostragem avalia a exposição do trabalhador durante a execução de suas atividades, mesmo que ele não permaneça em um local fixo de trabalho.
- b) *Amostragem de área*: com o amostrador colocado em ponto fixo no ambiente de trabalho, em local de circulação comum aos trabalhadores, próximo às principais fontes geradoras de poeira. Esse tipo de amostragem avalia a concentração ambiental, podendo indicar também a exposição indireta do trabalhador e/ou a eficiência das medidas de controle existentes.

Durante a amostragem foram observados a mobilidade e o deslocamento do trabalhador, o tempo de duração de cada atividade, os padrões de movimentação do ar no ambiente de trabalho e as diferenças pessoais na execução de operações similares. As amostras foram coletadas durante as atividades normais de trabalho, procurando não interferir na rotina dos trabalhadores.

4.2.2 Coletas para medição dos tamanhos das partículas

Para a medição dos tamanhos das partículas presentes no ar dos ambientes de trabalho foram realizados dois tipos de *amostragens de área*:

- a) *Amostras para análise por microscopia* que representa a técnica de referência clássica para medição de tamanhos de partícula.

Essas amostras foram coletadas junto aos trabalhadores durante a execução de suas tarefas, considerando o tipo de ferramenta (lixadeira, serra manual, chicote, serra de bancada), de abrasivo (disco de desbaste, lixa, rebolo) e de rocha trabalhada. O amostrador foi posicionado sobre a bancada de trabalho, o mais próximo possível da zona respiratória dos trabalhadores, de maneira que fossem coletadas as partículas possíveis de serem inaladas. Esse tipo de amostragem foi adotado devido ao tempo de coleta reduzido, à necessidade de troca freqüente dos filtros (interrompendo a atividade do trabalhador) e porque, em alguns casos, o trabalhador já estava portando o amostrador para amostragem individual, descrito anteriormente. O tempo de coleta das amostras variava, dependendo da intensidade da tarefa e, conseqüentemente, da quantidade de poeira gerada, de maneira a não sobrecarregar o filtro destinado às análises por microscopia.

- b) *Amostras para medição do diâmetro aerodinâmico* que representa uma alternativa mais rápida para a determinação de tamanhos de partícula, com a vantagem de considerar seu comportamento aerodinâmico.

O amostrador foi colocado sobre a bancada de trabalho dos marmoristas para a coleta da poeira gerada pelas ferramentas manuais (lixadeiras e serras manuais), durante o dia de trabalho. Essas amostras poderiam ser constituídas da poeira de um ou mais tipos de rochas.

A Tabela IV.1 apresenta a distribuição das amostras coletadas, conforme descrito nos itens 4.2.1 e 4.2.2, e o número de análises executadas sobre o material coletado, conforme procedimentos descritos a seguir.

Tabela IV.1: Número de amostras coletadas, classificadas por tipo de coleta, localização, amostrador, filtro de coleta e número de análises executadas

Nº de amostras coletadas	Concentrações Inalável, Torácica, Respirável		Medição dos Tamanhos das Partículas		
	<i>Amostragem Individual</i>	<i>Amostragem de Área</i>	<i>Amostras para microscopia</i>	<i>Amostras para diâmetro aerodinâmico</i>	
Tipo de coleta					
Acabamento a seco	108	41	36	20	
Atividades a úmido	50	-	25	-	
Tempo médio de coleta	5,5 horas	5,5 horas	1 a 5 min (seco) 10 a 30 min (úmido)	5,5 horas	
Amostrador	Impactador virtual	Impactador virtual	Impactador virtual	Porta-filtro padrão com face aberta	
Filtro de coleta	PVC	PVC	PC / EC	PC	
Nº total de amostras	199		61	20	
Nº de análises realizadas	597 análises gravimétricas	131 sílica por DRX	183 lâminas por MO	24 amostras por MEV	20 amostras pelo Aerosizer®

PVC = policloreto de vinila

PC = policarbonato

EC = mistura de éster de celulose

4.2.3 Amostradores de poeira

Para a coleta das amostras de poeira destinadas aos estudos desta tese, foi escolhido um tipo especial de impactador virtual, capaz de separar as partículas de poeira nas frações inalável, torácica e respirável, de acordo com as convenções da ACGIH/ISO/CEN⁽⁵⁻⁷⁾: o amostrador Respicon®, modelo 8522. Esse dispositivo foi desenvolvido especialmente para atender às novas convenções de amostragem de poeira⁽¹⁰⁹⁾.

A principal vantagem desse impactador virtual, diferente dos outros amostradores disponíveis comercialmente, é a possibilidade da coleta simultânea das três frações de interesse durante uma única amostragem. Essa facilidade também permite o registro da concentração de poeira na fração torácica, para a qual a disponibilidade tanto de amostradores específicos como de dados ainda é escassa.

Nesse amostrador, três filtros de coleta e dois impactadores virtuais são montados em uma unidade compacta concêntrica com simetria cilíndrica, conforme mostrado na Figura 4.1. O fluxo total é controlado com uma bomba de amostragem individual convencional, calibrada na vazão de 3,11 L/min. A separação em cada estágio é controlada por um orifício de fluxo.

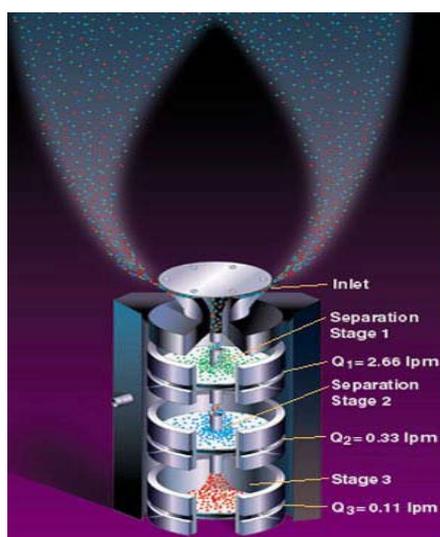


Figura 4.1: Ilustração do amostrador de partículas Respicon®⁽¹⁰⁹⁾

A entrada do amostrador é composta por uma cabeça circular com orifícios ao redor de seu perímetro. Essa entrada é projetada para permitir a penetração somente das partículas menores que $100 \mu\text{m}$. Devido ao projeto dessa entrada circular, a poeira é aspirada para dentro do dispositivo, a partir de todas as direções ao mesmo tempo. Por essa razão, a amostragem não deve sofrer interferência da orientação do vento⁽¹¹⁰⁾.

A poeira entra no amostrador passando através de um bocal central de aceleração que se dirige para o tubo coletor. Dentro do amostrador, as partículas de uma mesma amostra de ar são separadas nas frações inalável, torácica e respirável. Partículas grossas passam direto pelo tubo coletor, enquanto outras partículas são aerodinamicamente separadas nos filtros existentes em cada estágio do impactador. Os filtros dos estágios 1 e 2 possuem um orifício central que permite a passagem das partículas pelo tubo coletor. O filtro final do estágio 3 não possui orifício. O material coletado no filtro do estágio 1 corresponde à fração respirável da poeira. A soma dos materiais coletados nos filtros dos estágios 1 e 2 corresponde à fração torácica e a soma dos materiais coletados nos filtros 1, 2 e 3 corresponde à fração inalável.

Nas marmorarias, o impactador virtual foi utilizado para as coletas destinadas às determinações das concentrações de poeira e às medições dos tamanhos das partículas por microscopia.

As amostras individual e de área para as determinações das concentrações das frações de poeira foram coletadas sobre filtros de membrana de PVC de 5,0 μm de poro e 37 mm de diâmetro, tipo P-5037X3500, marca Omega Specialty Instrument.

As amostras para análise por microscopia foram coletadas utilizando dois tipos de filtros no mesmo amostrador. As frações inalável e torácica foram coletadas sobre filtros de mistura de éster de celulose (EC) de 5,0 μm de poro e 37 mm de diâmetro, tipo 225-1922, adequados para amostras destinadas à análise por microscopia ótica (MO). A fração respirável foi coletada sobre um filtro de policarbonato (PC) de 2,0 μm de poro e 37 mm de diâmetro, tipo PC-2037X3500, adequado para amostras destinadas à análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As amostras para medição do diâmetro aerodinâmico não foram coletadas com o impactador virtual. Devido ao tipo de análise a ser realizada posteriormente, o material coletado não poderia ser pré-classificado como acontece com as amostras do impactador virtual, por isso as amostras foram coletadas com porta-filtro padrão convencional

(*cassete*) de face aberta, conforme recomendado para amostragem do tipo *bulk*, acoplado a uma bomba de amostragem individual calibrada na vazão de 2,0 L/min. Isso também possibilitou a coleta de maior quantidade de material particulado necessário para a realização da análise com o analisador de diâmetro aerodinâmico de partículas. Para essas coletas foi utilizado o filtro de membrana de policarbonato (PC) de 0,8 µm de poro e 37 mm de diâmetro, marca Millipore.

4.3 Métodos de Análise

Uma vez que a amostra tenha sido coletada, ela pode ser analisada com relação às suas propriedades físicas e químicas. A amostra pode ser analisada como um todo ou cada componente ou partícula pode ser analisado individualmente⁽³⁸⁾. A seguir, são descritos os métodos utilizados para análise das amostras de poeira coletadas sobre filtros de membrana.

4.3.1 Análises para determinação das concentrações de poeira

Os filtros contendo o material particulado para a determinação das concentrações de poeira foram analisados por meio de métodos analíticos padronizados, desenvolvidos especificamente para avaliações de ambientes de trabalho.

a) Análise gravimétrica

Para a análise gravimétrica das amostras de poeira coletadas com o impactador virtual, foi utilizado o método de ensaio descrito na Norma de Higiene Ocupacional NHO-03: Análise Gravimétrica de Aerodispersóides Coletados sobre Filtros de Membrana⁽¹¹¹⁾. As análises foram realizadas utilizando uma balança analítica da marca Mettler, modelo H54AR, com sensibilidade de 0,01 mg.

A gravimetria é a técnica mais usada para a análise de amostras de poeira coletadas em ambientes de trabalho. Esse tipo de análise tem como finalidade determinar a massa de poeira coletada sobre filtros de membrana. Para isso, o filtro de coleta é pesado antes e

depois da amostragem em ambiente com temperatura e umidade controladas, determinando-se, assim, a massa de poeira por diferença.

O método não é específico para nenhum dos constituintes da amostra, uma vez que determina a massa de qualquer material particulado que possa ser retido no filtro. A concentração de poeira suspensa no ar é calculada dividindo-se o valor da massa de poeira retida no filtro pelo valor do volume de ar amostrado.

Foram coletadas 199 amostras de material particulado para determinação das concentrações de poeira, sendo que cada uma das amostras gerou três análises gravimétricas correspondentes às frações inalável, torácica e respirável (597 análises gravimétricas), como apresentado na Tabela IV.1.

b) Análise de sílica por difração de raios-X

Além da análise gravimétrica, a fração respirável de cada amostra também foi analisada por difração de raios-X (DRX), para verificação da presença e quantificação do teor de sílica livre cristalizada. Foram realizadas 199 análises qualitativas por DRX, sendo que a sílica foi identificada e quantificada em 131 amostras, como apresentado na Tabela IV.1.

Para a análise de sílica das amostras da fração respirável, foi utilizado o método de ensaio “Determinação de Sílica Livre Cristalizada por Difração de Raios-X”⁽¹¹²⁾, utilizando um difratômetro de raios-X marca Philips, modelo PW-1710, munido de tubo de cobre, trocador automático de amostras, monocromador de grafite e *spinner* automático.

O filtro de coleta é calcinado a 800°C e o calcinado é disperso em água destilada com auxílio de banho ultrassônico. Após a adição de um padrão interno (CaF₂), a mistura é depositada sobre um filtro analítico adequado para análise por DRX. A concentração de sílica no ambiente é calculada dividindo-se o valor da massa de sílica, determinada por DRX, pelo valor do volume de ar amostrado.

4.3.2 Análises para medição dos tamanhos das partículas

Os filtros contendo o material particulado para a medição dos tamanhos das partículas foram analisados por meio de duas técnicas que envolvem princípios diferentes: a microscopia como técnica clássica para medição de tamanhos das partículas (na forma de diâmetros geométricos) e um analisador de leitura direta para medição de diâmetros aerodinâmicos. Por não se tratarem de métodos padronizados e sim de aplicação de técnicas analíticas, os procedimentos utilizados serão descritos em mais detalhes.

a) Microscopia

Para o desenvolvimento desta tese, foram utilizadas a microscopia ótica (MO) e a microscopia eletrônica de varredura (MEV) como técnicas de referência^(113,114) para aquisição das imagens das partículas coletadas do ar. Essas técnicas foram utilizadas como ferramentas de ampliação dos objetos de estudo (partículas), utilizando as melhores condições de visualização para posterior tratamento e medição por programas de análise de imagem⁽¹¹⁵⁾. As técnicas de microscopia fornecem a oportunidade de observação da forma das partículas analisadas e requerem somente uma quantidade muito pequena de amostra. A possibilidade de medição direta do tamanho linear das partículas faz da microscopia a técnica primária de medição, servindo como referência para medições realizadas por instrumentos automáticos⁽¹¹⁶⁾.

a.1) Microscopia ótica

Para cada um dos filtros amostrados com o impactador virtual, foi cortada uma seção de ¼ do filtro para preparação da amostra. Cada seção de filtro EC (frações inalável e torácica) foi montada sobre uma lâmina de microscópio e transparentada usando o método da acetona/triacetina^(117,118). Cada seção de filtro PC (fração respirável) foi montada sobre uma lâmina de microscópio com óleo de índice de refração 1,6 para intensificar a transparentação dos filtros de policarbonato.

Aquisição das imagens ao microscópio ótico

Nas coletas para microscopia, o impactador virtual foi utilizado como instrumento facilitador para a separação da poeira em frações. Essa separação auxiliou na focalização das partículas para a aquisição das imagens. Devido à variação de amplitude da profundidade de foco para partículas de faixas muito diferentes de tamanhos, é muito difícil conseguir boas imagens com foco uniforme quando essas partículas estão todas juntas em um mesmo filtro.

As amostras foram observadas com objetivas de contraste de fase sob luz transmitida e aumento de 400X em um microscópio ótico, marca Carl Zeiss, modelo Axioskop 2. Cada lâmina contendo as partículas foi percorrida na direção horizontal, conforme mostrado na Figura 4.2, com campos de visualização selecionados aleatoriamente. Foram observados 30 campos de visualização para cada lâmina, sendo que em cada campo foram adquiridas de duas a três imagens com focos diferentes. As mudanças de campos de visualização e os ajustes de foco foram feitos manualmente.

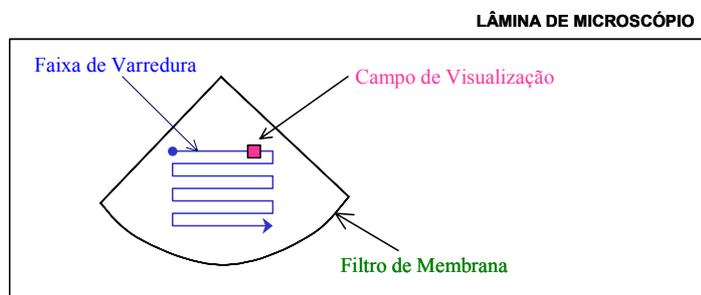


Figura 4.2: Esquema de varredura do filtro para seleção dos campos de visualização, destinados à medição dos tamanhos das partículas

Uma câmera digital transmitia as imagens observadas para o programa de análise de imagem KS-300 Imaging System, release 3.0, marca Carl Zeiss, instalado em um computador acoplado ao microscópio. As imagens eram digitalizadas em um quadro de medição de 1300 x 1030 *pixels*, previamente tratadas para realce de bordas e depois gravadas em CD-R para posterior medição dos tamanhos das partículas, utilizando o programa Leica® Qwin Standard, marca Leica Imaging Systems Ltd.

Medição das partículas

O programa de medição foi ajustado para aceitar todas as partículas presentes dentro do quadro de medição. Partículas que tocavam as bordas direita e inferior do quadro que demarcava o campo de visualização eram rejeitadas, conforme mostra a Figura 4.3, na qual as formas hachuradas representam as partículas aceitas e as formas não hachuradas representam as partículas rejeitadas para medição.

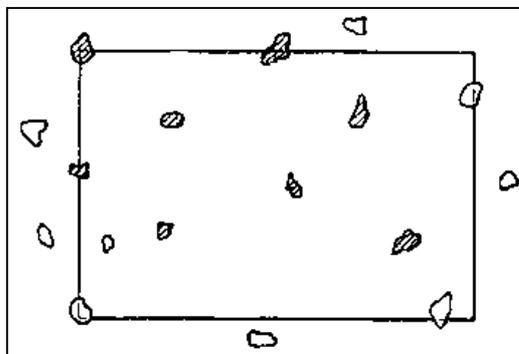


Figura 4.3: Esquema do quadro de medição do analisador de imagem.

O parâmetro selecionado para medição foi o *diâmetro equivalente da área projetada* que corresponde ao diâmetro de um círculo, tendo a mesma área projetada que a partícula em uma posição estável. O programa de medição era executado semi-automaticamente, permitindo a interferência do operador para a correção de defeitos de marcação para contagem e medição. A calibração linear do analisador de imagens foi realizada utilizando-se a imagem adquirida de uma escala micrométrica padrão, nas mesmas condições utilizadas para a aquisição das imagens das amostras, obtendo-se a referência de $1 \text{ pixel} = 0,168 \text{ }\mu\text{m}$. Os dados de medição obtidos foram armazenados para posterior tratamento estatístico.

a.2) Microscopia eletrônica de varredura: tamanhos das partículas na fração respirável

Devido às limitações de resolução para partículas menores que 1 μm , a reprodutibilidade dos resultados de medição das amostras da fração respirável analisadas por MO foi verificada por MEV⁽¹¹⁹⁾. Essa verificação foi realizada sobre 40% do total de amostras analisadas por MO, como apresentado na Tabela IV.1.

Nova seção de $\frac{1}{4}$ do filtro PC (fração respirável) foi cortada e metalizada com película de ouro para análise em um microscópio eletrônico de varredura, marca Jeol, modelo JSM-5410. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFMG.

Aquisição das imagens ao microscópio eletrônico de varredura

Cada amostra metalizada foi percorrida na direção horizontal, com observação de 30 campos de visualização selecionados aleatoriamente durante a varredura para cada amostra, da mesma maneira mostrada na Figura 4.2. As imagens foram adquiridas com detector de elétrons secundários, 15 kV, aumento de 2000X e fotografadas com uma câmera acoplada ao MEV. Os filmes foram revelados e os negativos convertidos em imagens digitalizadas por meio de um *scanner* para filmes de 35 mm da marca Nikon, modelo LS-2000. Imagens de 1024 x 1024 *pixels* foram gravadas em CD-R para posterior tratamento e medição dos tamanhos das partículas, utilizando o programa Leica® QWin Standard. Os procedimentos adotados para medição das partículas com imagens adquiridas pelo MEV foram os mesmos descritos para as partículas com imagens adquiridas por MO. A calibração linear do analisador de imagens foi realizada utilizando-se a barra de referência das imagens obtidas pelo MEV.

A variabilidade máxima na comparação dos resultados de MO e MEV foi de 10%, para partículas com diâmetro maior que 0,5 μm . Como a variabilidade aceitável para a técnica de contagem por microscopia ótica, em higiene ocupacional, é de até 20 a

30%⁽¹²⁰⁾, foram considerados como válidos todos os resultados da fração respirável analisados por MO, desprezando-se todos os valores de medição menores que 0,5 μm .

A determinação da distribuição dos tamanhos das partículas coletadas sobre filtros de membrana foi realizada com base na norma BS-3406: “Methods for Determination of Particle Size Distribution, Part 4 - Guide to Microscope and Image Analysis Methods”⁽¹¹⁴⁾.

b) Medição do diâmetro aerodinâmico das partículas

As medições realizadas por microscopia referem-se ao diâmetro geométrico linear das partículas. Nesse tipo de medição, não é possível observar o comportamento aerodinâmico da partícula. Com o analisador de partículas Aerosizer®, o diâmetro aerodinâmico de uma partícula pode ser medido por meio da determinação de sua velocidade em um fluxo acelerado de ar⁽¹²¹⁾.

A Figura 4.4 apresenta uma ilustração da operação de um medidor de diâmetro aerodinâmico de partículas. Nesse instrumento, a poeira é introduzida no interior do medidor com o auxílio de um jato de ar que acelera as partículas. Devido à sua maior inércia, as partículas grandes são mais lentas que as partículas pequenas, assim, em relação à saída do jato de ar, a velocidade das partículas grandes é menor que a velocidade das partículas pequenas⁽¹²²⁾.

Depois de deixar o jato, a partícula passa através de dois feixes de laser em série. Ao cruzar o primeiro feixe, o espalhamento de luz produzido pela partícula aciona um fotodiodo que liga um contador de tempo (*timer*). Quando a partícula cruza o segundo feixe, o espalhamento aciona um segundo fotodiodo que desliga o *timer*. O espalhamento de luz é usado somente para ligar e desligar o *timer*; ele não é usado, diretamente, para medir o tamanho da partícula. Por isso, diferente de outros instrumentos óticos, o Aerosizer® não é sensível às diferenças na forma ou índice de refração da partícula⁽¹²²⁾.

O valor da distância entre os feixes, dividido pelo tempo de trânsito (*time-of-flight*), fornece a velocidade da partícula. A velocidade é comparada com uma curva de calibração estabelecida, usando um padrão de partículas esféricas monodispersas. A relação entre a velocidade e o diâmetro aerodinâmico da partícula é determinado por meio de um código computacional desenvolvido para o instrumento⁽¹²³⁾.

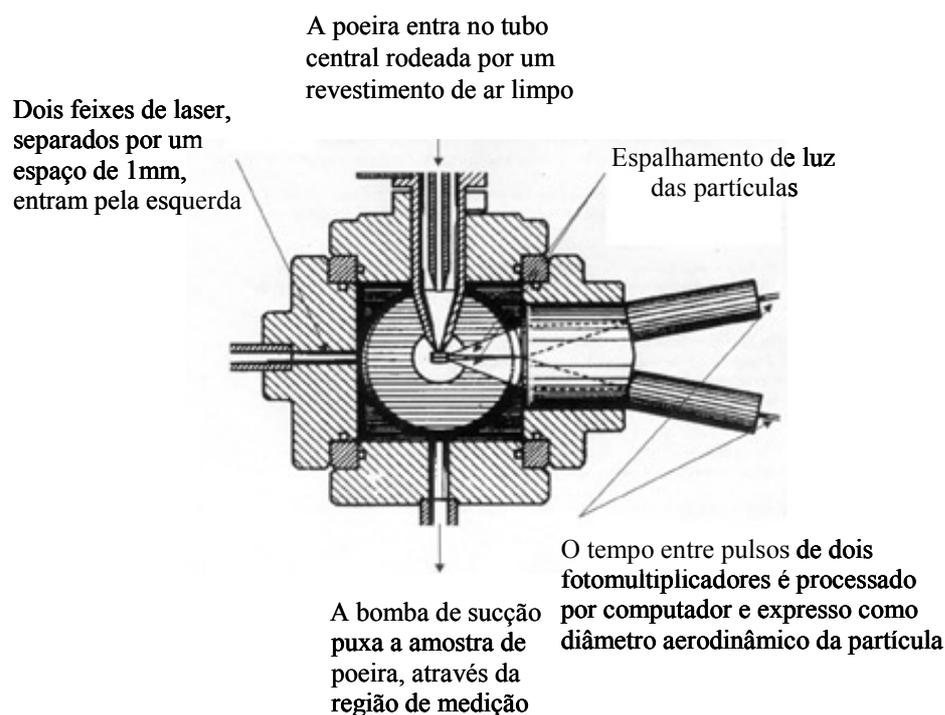


Figura 4.4: Esquema de operação de um medidor de diâmetro aerodinâmico das partículas⁽¹²²⁾.

O analisador de partículas⁽¹²⁴⁾, utilizado nesta tese, foi projetado especificamente para aplicações de pesquisa de poeiras. O equipamento possui um diluidor interno de poeira e um processador digital que seleciona o melhor ajuste do instrumento e controla automaticamente a exatidão das contagens. Podem ser obtidos registros de distribuição em número e em volume, usando diâmetro geométrico ou aerodinâmico.

O principal acessório desse instrumento é um sistema de dispersão de poeira a seco. Uma pequena quantidade de amostra (0,01 a 1,0 g) é colocada no copo do dispersor e jatos pulsantes de ar são usados para estabelecer um estado ótimo de dispersão. O

analisador detecta partículas na faixa de 0,6 a 200 μm , em concentrações acima de 5.000 partículas/ cm^3 . A concentração mínima de trabalho do instrumento é de 1,0 partícula/ cm^3 . A taxa máxima de processamento é de 75.000 partículas/s.

Preparação das amostras

Os filtros, contendo as amostras de particulado, foram removidos dos porta-filtros, depositados sobre placas de Petri e levados para secar em estufa a 110°C por duas horas. Após esse procedimento, o particulado foi removido do filtro, por raspagem com uma espátula metálica, e acondicionado em frasco de vidro tampado e codificado para posterior análise.

O frasco contendo a amostra seca foi girado 20 vezes para homogeneização e distribuição uniforme das partículas. A seguir, uma pequena porção da amostra foi retirada com a ponta de uma espátula e colocada diretamente no copo de dispersão do analisador de partículas. Os dados para identificação da amostra foram fornecidos ao programa do sistema, juntamente com o valor de densidade aproximada do material a ser analisado.

Em algumas bancadas, o trabalhador gerou poeira de um único tipo de rocha durante o período de amostragem, em outras foram trabalhadas mais de um tipo. Nos casos de mistura, foi adotada a densidade média das rochas trabalhadas.

Condições de análise

Para a execução das análises com o Aerosizer®, os parâmetros operacionais foram:

Pressão do Fluxo: 50,0 %	Incremento de pressão: 0,0%
Pressão do Pulso: 0,0%	Incremento do Pulso: 0,5%
Taxa de contagem mínima do <i>background</i> :	4000
Taxa de contagem máxima do <i>background</i> :	8000
Limites de medição ajustados:	0,2 a 100 μm

Cada rodada de análise durou em média de 0,5 a 1,0 minuto, podendo ser interrompida ou prolongada dependendo do comportamento do gráfico de distribuição mostrado, simultaneamente, na tela do computador acoplado ao sistema. O analisador de partículas

foi ajustado para fornecer um relatório contendo os dados de medição, acompanhado do gráfico da frequência acumulada por intervalo de classe. Esse relatório foi fornecido no formato de distribuição em número em função do diâmetro aerodinâmico das partículas.

4.4 Dificuldades experimentais e estimativa de incertezas

A quantidade de poeira gerada nos ambientes de trabalho das marmorarias era muito grande. Isso fez com que fossem tomados cuidados especiais com todos os instrumentos usados em campo, principalmente, quanto à manutenção e limpeza.

Para as determinações das concentrações de poeira, muitas das amostras coletadas com o impactador virtual, desprendiam-se do filtro de coleta, exigindo transporte e desmontagem cuidadosa desse dispositivo. Havia possibilidade de perda de material durante a execução da análise gravimétrica, fazendo com que o erro relativo das massas obtidas fosse superior àquele obtido em situações normais de trabalho.

Os erros das concentrações estão associados aos erros de determinação da massa e do volume de ar amostrado. Sendo de 5% o erro relativo máximo aceito para as bombas de amostragem individual, de 4 a 6% para as massas obtidas por gravimetria e de 5% para as massas de sílica obtidas por DRX, estima-se que as incertezas experimentais finais para os valores de concentração foram da ordem de:

- 9 a 11% para as frações inalável, torácica e respirável;
- 10% para sílica na fração respirável.

Uma das limitações para as análises por microscopia foi a quantidade de partículas depositadas sobre o filtro de coleta. Por isso, apesar de ter sido coletado um total de 200 amostras, muitas delas foram rejeitadas por excesso de partículas em alguma das três frações, geralmente na fração inalável, sendo consideradas válidas para análise somente 61 dessas amostras, conforme apresentado na Tabela IV.1.

Em microscopia associada à análise de imagem, a incerteza da medição está associada à capacidade de se definir a borda da partícula para que o programa execute a medição automática. Para essas medições a incerteza foi estimada em 10%.

Para as análises realizadas com o analisador de diâmetro aerodinâmico de partículas, a maior dificuldade foi encontrar o melhor procedimento para coleta e preparação das amostras. A incerteza estimada para as medições foi de 5%.

4.5 Exposição Média dos Trabalhadores de Marmorarias: tratamento estatístico dos valores de concentração para avaliação da exposição ocupacional

Os métodos estatísticos mais utilizados no tratamento e interpretação dos dados de avaliação da exposição ocupacional a poeiras baseiam-se no fato de que as concentrações medidas, a partir de amostras ambientais, respondem a uma distribuição lognormal⁽¹²⁰⁾. Isso vale tanto para as concentrações obtidas dentro de um turno de trabalho específico como para as que correspondem a vários dias de medição no mesmo local, levando-se em conta que as concentrações ambientais, geralmente, apresentam variações muito acentuadas.

Uma vez que a distribuição lognormal é uma distribuição normal dos logaritmos dos valores medidos, podem-se obter, assim, os valores de tendência central e de dispersão da mesma maneira que na distribuição normal. A tendência central é a média geométrica para a distribuição lognormal e a dispersão é o desvio padrão geométrico. Esses dois parâmetros são calculados a partir dos logaritmos dos valores do conjunto de amostras, sendo:

$$\ln x_g = \frac{\sum n_i \ln x_i}{N} \quad (4.1)$$

$$\ln \sigma_g = \frac{\sum n_i (\ln x_i - \ln x_g)^2}{N - 1} \quad (4.2)$$

onde

- x_g = média geométrica
- σ_g = desvio padrão geométrico
- x_i = concentração de poeira da amostra i
- N = número de amostras coletadas

A variabilidade ambiental é expressa pelo desvio padrão geométrico (σ_g). Um valor de $\sigma_g = 1$ corresponde a uma concentração ambiental constante (não variação). Uma distribuição lognormal com $\sigma_g \leq 1,4$ possui uma forma muito semelhante à de uma distribuição normal. Valores de $\sigma_g \geq 2$ correspondem a variações relativamente elevadas⁽¹²⁰⁾.

4.5.1 Representação gráfica com eixo transformado

Leidel⁽¹²⁰⁾ utiliza um modelo de avaliação do nível de exposição ao longo do tempo baseado no fato de que as distribuições das exposições médias são lognormais. Se forem mantidas as mesmas condições ambientais encontradas durante as medições, esse modelo pode estimar a probabilidade da concentração de poeira em ultrapassar um valor recomendado (ou de referência).

A representação gráfica, em escala logprobabilística, do conjunto de valores medidos é uma reta da qual se pode obter a média geométrica, o desvio padrão geométrico e a probabilidade de um valor de referência ser ultrapassado.

O procedimento prático simplificado para o tratamento dos dados experimentais consiste em ordenar os valores medidos de maneira crescente e calcular, para cada um deles, sua posição em um diagrama de probabilidades. Essa posição é uma função do número de valores obtidos e pode ser determinada a partir de planilhas de demarcação gráfica que representam uma distribuição normal⁽¹²⁰⁾ ou por uma expressão simplificada, em que:

$$P_i = \frac{100i}{(N+1)} \quad (4.3)$$

sendo P_i = posição do valor de ordem i
 N = número de valores demarcados em gráfico
 i = n° de ordem

Exemplo:

Concentração (mg/m³)	1,0	1,1	1,4	1,7	1,8	2,5	2,6	2,6	3,2	3,3	3,7	4,0
N° de ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pi (%)	7,7	15,4	23,1	30,8	38,5	46,2	53,8	61,5	69,2	76,9	84,6	92,3

Os dados podem ser demarcados em papel logprobabilístico (disponível comercialmente), no qual um dos eixos está em escala logarítmica e o outro em valores de *probits*. A transformação *probit* é um modelo de regressão que considera as funções cumulativas de probabilidade associadas à distribuição de probabilidade Gaussiana. Os *probits* indicam quantos desvios padrão da média o valor porcentual representa para uma distribuição normal.

Os valores percentuais e seus valores correspondentes de *probits* são apresentados na Tabela IV.2. A média está situada no *probit* = 0, correspondente a 50% de probabilidade de frequência acumulada abaixo de um determinado valor demarcado no diagrama (no caso, de concentração). O desvio padrão é obtido, dividindo-se o valor correspondente a 84,1% no eixo das concentrações (*probit* = +1) pelo valor correspondente a 50% (*probit* = 0); ou dividindo-se o valor correspondente a 50% pelo valor correspondente a 15,9% (*probit* = -1).

Outros valores de *probit* podem ser obtidos por meio da seguinte fórmula:

$$probit = 4,9 (F^{0,14} - (1 - F)^{0,14}) \quad (4.4)$$

sendo: F = valor porcentual em centésimos de unidade

Tabela VI.2: Valores percentuais e valores correspondentes de *probits*⁽⁴¹⁾

Valor percentual	Probit
0,003	- 4,0
0,023	- 3,5
0,135	- 3,0
0,621	- 2,5
2,275	- 2,0
6,681	- 1,5
15,866	- 1,0
30,854	- 0,5
50,000	0,0
69,146	+ 0,5
84,134	+ 1,0
93,319	+ 1,5
97,725	+ 2,0
99,379	+ 2,5
99,865	+ 3,0
99,977	+ 3,5
99,997	+ 4,0

O modelo de avaliação do nível de exposição ao longo do tempo, proposto por Leidel⁽¹²⁰⁾, leva em consideração a variabilidade das concentrações em ambientes de trabalho e recomenda a implantação de medidas de controle adequadas ao agente contaminante, ou melhoria daquelas já instaladas, quando a probabilidade do valor de referência ser ultrapassado for superior a 5%.

4.5.2 Cálculo da probabilidade de exposição para poucas amostras

Os parâmetros necessários à determinação da probabilidade da exposição ultrapassar um valor de referência, também, podem ser calculados a partir de uma série de medições de exposição média diária⁽¹²⁰⁾. Esses cálculos são mais convenientes quando não se dispõe de um grande número de amostras para a construção de gráficos probabilísticos mais precisos. Podem ser utilizados, por exemplo, para calcular os parâmetros individuais de cada uma das empresas avaliadas. O procedimento para tratamento dos dados experimentais é o seguinte:

1. Selecionar os valores das concentrações médias diárias a serem utilizadas.

2. Calcular as concentrações relativas ao valor de referência, sendo:

$$CR = \frac{C_f}{VR} \quad (4.5)$$

onde: CR = concentração relativa ao valor de referência
 C_f = concentração na fração amostrada (inalável, torácica, respirável ou sílica)
 VR = valor de referência ou limite de exposição ocupacional

3. Calcular os logaritmos das exposições relativas: $Y_i = \ln (CR)_i$.
4. Calcular a média aritmética (Y) e o desvio padrão(S) dos logaritmos Y_i .
5. A probabilidade (P_n) de não atendimento do valor de referência é obtida calculando-se Z a partir de Y e S :

$$Z = Y/S \quad (4.6)$$

6. Entrar com o valor absoluto de Z na Tabela IV.3 para achar o valor porcentual de que o valor de referência seja ultrapassado, nas condições atuais de trabalho.
7. Se $Z > 0$, então $P_n = (\text{valor da Tabela IV.3}) \times 100$.
Se $Z \leq 0$, então $P_n = (1 - \text{valor da Tabela IV.3}) \times 100$.
8. Calcular a concentração média geométrica no período avaliado, a partir dos logaritmos Y_i .
9. Calcular o desvio padrão geométrico no período avaliado, a partir dos logaritmos Y_i .

Tabela IV.3: Tabela para computar a percentagem da área total na cauda de uma distribuição normal cumulativa ⁽¹²⁰⁾

	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

4.5.3 Valores de referência

Para interpretação dos resultados da avaliação ambiental foram adotados como valores de referência os limites de exposição ocupacional (LEO) recomendados pela ACGIH em 2004⁽⁵²⁾, observando-se os critérios descritos a seguir, em ordem crescente de prioridade:

1. Uma vez que o maior valor estabelecido para o LEO para poeiras na **fração inalável** é de 10 mg/m³, considera-se que, independente da composição da poeira, a

concentração não deve ultrapassar esse valor nessa fração em nenhum ambiente de trabalho.

2. Uma vez que o maior valor estabelecido para o LEO para poeiras na **fração respirável** é de 3 mg/m^3 , considera-se que, independente da composição da poeira, a concentração não deve ultrapassar esse valor nessa fração em nenhum ambiente de trabalho.
3. Considerando os agravos à saúde, provocados pela presença da **sílica livre cristalizada** na poeira suspensa no ar **na fração respirável** e seu potencial carcinogênico reconhecido pela IARC⁽⁶⁹⁾, aplicou-se o LEO de $0,05 \text{ mg/m}^3$, por ser mais restritivo que aquele fixado pela legislação brasileira por meio da NR-15: anexo 12.

Apesar de existir um LEO de 10 mg/m^3 para poeira de carbonato de cálcio (componente de diversos tipos de mármore), a exposição à sílica é prioritária e, sem dúvida, mais nociva à saúde. Mesmo em marmorarias que declaravam executar trabalhos especializados em mármore, foi observado algum tipo de trabalho com granito.

De acordo com a NR-9⁽³²⁾, devem ser iniciadas ações preventivas para controle sistemático da exposição aos agentes químicos quando as concentrações do referido agente ultrapassarem 50% do valor de referência ou LEO (Nível de Ação - NA).

4.6 Tamanho Característico das Partículas Geradas em Marmorarias: distribuição dos tamanhos das partículas

Da mesma maneira que a distribuição das concentrações, os tamanhos das partículas (diâmetros) seguem a distribuição lognormal. Essa característica é típica dos aerossóis produzidos por ruptura mecânica, pela qual um material original é quebrado e as partículas grandes inicialmente produzidas são novamente quebradas, produzindo outras cada vez menores.

O diâmetro é a dimensão que melhor caracteriza o tamanho de uma partícula. Entretanto, quando partículas de muitos tamanhos estão juntas, como no caso dos

aerodispersóides, o diâmetro sozinho não é suficiente para descrever os tamanhos de todas as partículas suspensas no ar. O conjunto de medições individuais é mais bem compreendido quando reunidos na forma de uma distribuição de frequências de tamanhos.

Para a construção da curva de distribuição dos tamanhos os dados de medição individual das partículas, obtidos por microscopia, foram ordenados e classificados em intervalos de igual comprimento logarítmico de diâmetro.

A forma de apresentação mais conveniente para análise da distribuição dos tamanhos das partículas é o gráfico de frequência acumulada, no qual a porcentagem acumulada de poeira mais fina (ou mais grossa) que um determinado tamanho é mostrada em função do limite superior do intervalo de classe, em escala logarítmica. Essa forma também possibilita que as porcentagens acumuladas de poeira possam ser transformadas em valores de *probits*, favorecendo o mesmo tipo de tratamento descrito no item 4.5.1 com os valores de média e desvio padrão geométricos obtidos diretamente do gráfico logprobabilístico.

4.6.1 Diâmetro aerodinâmico das partículas

Como mencionado no item 3.3.3, o tamanho geométrico de uma partícula não explica completamente seu comportamento em estado de suspensão ou seu deslocamento pelo sistema respiratório. A medida do tamanho da partícula mais adequada para a maioria das situações de higiene ocupacional é o diâmetro aerodinâmico.

Considerando que o tamanho medido por microscopia foi o diâmetro esférico equivalente da área projetada da partícula, pode-se fazer uma aproximação para o diâmetro aerodinâmico a partir da seguinte expressão⁽⁴⁰⁾:

$$d_a = d_e (\rho_p / \rho_o \chi)^{1/2} \quad (4.7)$$

sendo: d_a = diâmetro aerodinâmico da partícula
 d_e = diâmetro equivalente da partícula
 ρ_p = densidade da partícula
 ρ_o = densidade da esfera hipotética (1g/cm³)
 χ = fator de correção de forma (para partículas irregulares)

4.6.2 Equações de conversão de Hatch-Choate

A verdadeira utilidade da distribuição lognormal é que qualquer tipo de diâmetro médio ou mediano pode ser facilmente calculado, para outra distribuição lognormal conhecida, por meio das equações de conversão de Hatch-Choate⁽⁴⁰⁾. Essas equações estão baseadas no fato de que o desvio padrão geométrico permanece constante para todas as distribuições medidas. Dessa maneira, o diâmetro médio por contagem em número (DMC) está relacionado com o diâmetro mediano em massa (DMM) e o diâmetro mediano em área de superfície (DMS), importantes para julgamentos em saúde ocupacional.

Os valores de DMM e DMS são obtidos pelas seguintes equações de conversão:

$$DMM = DMC \exp (3 (\ln \sigma_g)^2) \quad (4.8)$$

$$DMS = DMC \exp (2 (\ln \sigma_g)^2) \quad (4.9)$$

onde σ_g = desvio padrão geométrico dos diâmetros medidos

Essa conversão estabelece uma relação entre os tamanhos de partículas medidos por microscopia com a quantidade em massa e a área de superfície de contato obtidas por essas partículas. O diâmetro mediano (DMM ou DMS) é definido como o diâmetro em que metade (da massa ou da área de superfície) do particulado suspenso no ar é constituída por partículas maiores que o diâmetro mediano (DMM ou DMS) e a outra metade por partículas menores.

Com os dados de DMM, DMS e de σ_g , podem-se construir as curvas de frequência de distribuição de massa e de área de superfície em função do diâmetro das partículas. Essas curvas são paralelas à curva de frequência de distribuição em número.

4.6.3 Concentração em número de partículas suspensas no ar

A medição dos tamanhos das partículas fornece também informação sobre a concentração em número de partículas disponíveis no ar dos ambientes avaliados. Essa informação possibilita a comparação do efeito que algumas medidas de controle já adotadas pelas empresas podem ter sobre a quantidade de poeira presente no ar.

Nas análises por microscopia, as partículas são medidas sobre uma parcela do filtro de coleta. Se a densidade de partículas sobre o filtro for uniforme, pode-se estimar a quantidade de partículas coletadas sobre esse filtro, durante o período de amostragem. Assim, a concentração de partículas no ar é calculada pelas seguintes expressões:

$$C = \frac{np}{nc} \times \frac{1}{Q \times t} \times \frac{Auf}{A} \quad (4.10) \quad \text{com} \quad Auf = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (4.11)$$

sendo: C = concentração de partículas (milhões de partículas por metro cúbico de ar)
 np = número de partículas contadas
 nc = número de campos observados ao microscópio
 Q = vazão da bomba de amostragem individual (L/min.)
 t = tempo de amostragem (min.)
 Auf = área útil do filtro de coleta (mm²)
 A = área do quadro de medição (μm²)
 d = diâmetro do filtro de coleta (mm)

4.7 Limites de Confiança das Medições

Quando uma distribuição lognormal apresenta uma boa aproximação de uma reta em gráfico logprobabilístico, pode-se determinar com 95% de confiança que o valor médio verdadeiro, tanto de concentrações quanto de tamanhos, encontra-se dentro da faixa

definida pelos limites de confiança⁽⁴¹⁾. Para um número grande de amostras de poeira ($N > 30$), pode-se obter uma faixa de valores tanto para a média geométrica quanto para o desvio padrão geométrico dos valores medidos.

Como a distribuição dos logaritmos dos diâmetros é normal (para uma distribuição lognormal) é conveniente considerar os intervalos de confiança em termos dos logaritmos da média e do desvio padrão geométricos e depois convertê-los em média e desvio padrão geométricos dos valores medidos. Assim, para $N > 30$ amostras, esses valores podem ser estimados com 95% de confiança pela expressão 4.12:

$$\ln x_g \pm \frac{2 \ln \sigma_g}{N^{1/2}} \quad (4.12)$$

sendo:

x_g = média geométrica (das concentrações ou dos diâmetros das partículas das amostras coletadas)

σ_g = desvio padrão geométrico (das concentrações ou dos diâmetros das partículas das amostras coletadas)

N = número de amostras coletadas

No próximo capítulo serão apresentados os resultados das medições realizadas, com base nas informações sobre os métodos de coleta e análise utilizados para a determinação das concentrações de poeira e para a medição dos tamanhos das partículas encontradas em marmorarias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coletas de amostras de poeira suspensa no ar nas marmorarias da Cidade de São Paulo foram realizadas no período de abril de 2003 a junho de 2004. Para que este estudo pudesse ser efetuado de maneira que representasse as situações normais de trabalho, foi solicitada a colaboração dos proprietários das marmorarias, a fim de que não houvesse interferência no comportamento dos trabalhadores ou alteração da rotina de trabalho. Então, foi-lhes garantido o sigilo com relação à identificação das marmorarias, apesar de ser também de interesse dos proprietários a verificação da eficácia das medidas de controle já instaladas e a definição da melhor solução para minimizar a exposição a poeiras.

Dessa forma, este capítulo apresenta os valores medidos e os resultados obtidos para as avaliações ambientais realizadas, durante as operações de trabalho mais comuns, nas atividades de beneficiamento de rochas ornamentais em marmorarias. Em particular, foram determinadas as concentrações de poeira nas frações inalável, torácica e respirável e a faixa de tamanhos das partículas predominantes nesses ambientes. A partir dessas informações, este trabalho de tese apresenta uma discussão sobre o nível de exposição dos trabalhadores durante a jornada de trabalho e as características típicas dessa exposição nas dez marmorarias selecionadas.

5.1 Avaliação da Exposição Ocupacional a Poeiras: concentrações de poeira nas frações inalável, torácica e respirável

Cada uma das marmorarias avaliadas possuía características de exposição ocupacional muito particulares. As concentrações de poeira nos ambientes de trabalho variavam dependendo de diversos fatores. Dentre eles, podem ser destacados o tipo de tarefa executada, o número de trabalhadores operando lixadeiras, os tipos de rochas trabalhadas, a proximidade entre as bancadas de trabalho, o ritmo de trabalho, a existência de ventilação natural favorável à dispersão da poeira, o posicionamento e a distância do sistema de exaustão (quando existia) em relação às fontes geradoras de poeira, a proporção de atividades executadas a úmido e o tamanho da marmoraria.

Algumas das situações encontradas nas visitas preliminares, ocorridas nos meses de fevereiro e março de 2003, haviam se alterado. Dessa maneira, três das marmorarias selecionadas (MP, IT e SK) foram avaliadas sem que o sistema de controle, inicialmente observado, estivesse em funcionamento. A Tabela V.1 apresenta a situação de controle coletivo encontrada durante o período de avaliação de campo.

Tabela V.1: Tipos de medidas coletivas de controle utilizadas para a redução da exposição ocupacional a poeiras no setor de acabamento das marmorarias avaliadas

Código da Marmoraria	Nº total de trabalhadores na produção	Nº de trabalhadores no acabamento	Tipos de medidas de controle encontradas durante o período de avaliação
PE	08	06	Sistema de exaustão tipo tela, atendendo a 2 das 10 bancadas de trabalho
MP	10	06	Sistema de exaustão tipo coifa (desativado e desmontado durante o período de avaliação)
PA	10	07	Sistema de exaustão tipo coifa com 3 captores, localizados à 1,5 m acima das bancadas, atendendo a 5 das 8 bancadas; 1 lixadeira para brilho d'água
GR	05	02	Processo produtivo totalmente a úmido (acabamento com lixadeiras pneumáticas)
PM	12	07	Sistema de exaustão tipo tela, localizado à 1 m das bancadas, atendendo a todo o setor de acabamento
IT	12	08	Sistema de exaustão tipo tela em um único ponto do setor de acabamento (desativado); boleadeiras automática a úmido
BA	09	04	Exaustão de bancada, com captura sob as bancadas e descarga em lâmina d'água; uso de lixa espanhola
SK	05	03	Declarou o uso de lixa espanhola (não usou lixadeiras durante o período de avaliação); não havia exaustão
AL	10	08	Sistema de exaustão em hélice com 4 captores, localizados à 1 m das bancadas, com descarga em lâmina d'água que segue para tanque de decantação; 1 lixadeira para brilho d'água
DE	08	06	Sistema de exaustão em hélice com 3 captores, localizados à 1 m das bancadas, com descarga a seco em segregado de alvenaria dentro da área de produção

Um dos problemas observados na instalação dos sistemas de exaustão foi a necessidade de movimentação dos trabalhadores ao redor das bancadas de trabalho para a execução das tarefas. Devido a isso, os captores estavam posicionados muito afastados dessas bancadas. Assim, a poeira gerada pelas ferramentas manuais passava pelas narinas dos trabalhadores antes de ser aspirada pela exaustão.

Nas marmorarias que adotaram sistema de exaustão do tipo tela, os filtros eram rapidamente impregnados pelo excesso de poeira gerada pelas lixadeiras, com evidente diminuição da eficiência de captura do particulado. Devido ao custo elevado, a troca dos filtros não era executada com frequência suficiente. Na marmoraria PM, a exaustão do tipo tela foi adotada em todo o setor de acabamento. Nesse caso, em particular, foi observado que o principal benefício foi de ordem geral. Nessa empresa a poeira não se dispersava para os setores de corte e polimento de chapas que trabalhavam a úmido.

Algumas marmorarias estavam testando lixadeiras elétricas com abastecimento contínuo de água para a finalização do trabalho de acabamento, chamado de “brilho d’água”. Porém, essa tarefa era executada no setor de acabamento, ao lado das lixadeiras convencionais que operam a seco.

Apesar das diferenças estruturais entre as marmorarias, as semelhanças de processo produtivo possibilitaram a identificação, de uma maneira geral, dos procedimentos de trabalho responsáveis pela exposição ocupacional a poeiras.

Os valores de concentração de poeira mostrados nas Tabelas V.2 a V.11 representam as situações de exposição dos trabalhadores em cada uma das marmorarias avaliadas para cada fração de particulado, durante o período amostrado. Foram realizadas, em média, duas amostragens por trabalhador ou ponto de amostragem.

Tabela V.2: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria PE

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	%Sílica na fração respirável
Bancada 1: acabador JC (acabamento seco)	PE-11	desbaste	M. Crema Marfil	14 ± 1	7,6 ± 0,6	1,9 ± 0,2	-	-
	PE-14	lixamento	M. Crema Marfil	14 ± 1	6,8 ± 0,6	1,3 ± 0,1	-	-
Bancada 3: acabador AN (acabamento seco/exaustão)	PE-12	lixamento	M. Crema Marfil	7,8 ± 0,6	2,8 ± 0,2	1,1 ± 0,1	-	-
	PE-16	lixamento	M. Crema Marfil	18 ± 1	6,6 ± 0,5	2,4 ± 0,2	-	-
Bancada 4: acabador VT (acabamento seco/exaustão)	PE-17	lixamento	M. Bco Piguês/M. Crema Marfil	10 ± 1	3,8 ± 0,3	1,1 ± 0,1	-	-
	PE-20	lixamento	M. Crema Marfil	17 ± 1	5,9 ± 0,5	1,5 ± 0,1	-	-
Bancada 7: acabador AF (acabamento seco)	PE-18	lixamento	M. Branco Piguês	15 ± 1	4,1 ± 0,3	1,5 ± 0,1	-	-
	PE-21	lixamento	M. Branco Piguês	17 ± 1	5,9 ± 0,5	1,6 ± 0,1	-	-
Bancada 8: acabador RQ (acabamento seco)	PE-23	lixamento	M. Travertino	11 ± 1	4,6 ± 0,4	1,6 ± 0,1	-	-
	PE-27	lixamento	M. Travertino	11 ± 1	5,2 ± 0,4	1,3 ± 0,1	0,047 ± 0,005	3,5
Bancada 10: acabador MA (acabamento seco)	PE-24	colagem	M. Crema Marfil	2,6 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,37 ± 0,03	-	-
	PE-28	colagem	M. Crema Marfil	5,4 ± 0,4	2,2 ± 0,2	0,75 ± 0,06	-	-
Bancada 11/12: área (corte úmido)	PE-25	corte tradicional	Todos os mármore	1,5 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,26 ± 0,02	-	-
	PE-29	corte tradicional	Todos os mármore	1,1 ± 0,1	0,56 ± 0,04	0,22 ± 0,02	-	-
Bancada 2: área (acabamento seco)	PE-13	influência das	M. Travertino	5,4 ± 0,4	3,2 ± 0,3	0,92 ± 0,07	-	-
	PE-15	bancadas 1 e 3	M. Travertino	4,1 ± 0,3	1,7 ± 0,1	0,67 ± 0,05	0,12 ± 0,01	18
Bancada 5/6: área (acabamento seco)	PE-19	colagem/lixamento	M. Crema Marfil	4,9 ± 0,4	2,9 ± 0,2	1,0 ± 0,1	-	-
	PE-22	colagem/lixamento	M. Travertino	5,6 ± 0,4	2,8 ± 0,2	0,82 ± 0,07	0,029 ± 0,003	3,5
Conc. média geom. (acabam)	-	-	-	11	4,2	1,3	0,05	-
Desv. padrão geom. (acabam)	-	-	-	1,8	1,8	1,6	-	-

Tabela V.3: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria MP

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	%Sílica na fração respirável
Bancada 1: acabador JC (acabamento seco)	MP-31	desbaste/colagem	Ardósia Cinza	49 ± 4	16 ± 1	5,6 ± 0,4	0,81 ± 0,08	14
	MP-49	lustro	G. Pto. S.Gabriel	9,3 ± 0,7	3,9 ± 0,3	1,2 ± 0,1	0,29 ± 0,03	24
Bancada 2: acabador NI (acabamento seco)	MP-41	serra márm/ lixamento	M. Crema Marfil/G.Laranjeira	34 ± 3	17 ± 1	4,4 ± 0,4	0,20 ± 0,02	4,4
	MP-45	serra márm/ lixamento	G. Amêndoa Ornamental	28 ± 2	10 ± 1	3,0 ± 0,2	0,37 ± 0,04	12
Bancada 3: acabador GI (acabamento seco)	MP-32	desbaste	G.Am. Sta. Cecília	245 ± 20	76 ± 6	29 ± 0,2	1,2 ± 0,1	4,2
	MP-42	serra márm/ lixamento	G. Verde Pavão	49 ± 4	15 ± 1	5,1 ± 0,4	0,85 ± 0,08	17
Bancada 4: acabador JA (acabamento seco)	MP-34	desbaste/serra márm.	Ardósia Cinza/G.Bco Polar	15 ± 1	7,2 ± 0,6	1,7 ± 0,1	0,21 ± 0,02	12
	MP-37	desbaste/lixamento	G. Amêndoa Rio	69 ± 6	26 ± 2	7,3 ± 0,6	0,82 ± 0,08	11
Bancada 7: acabador ED (acabamento seco)	MP-38	serra mármore	M. Crema Marfil	72 ± 6	30 ± 2	8,6 ± 0,7	-	-
	MP-35	desbaste	M. Crema Marfil	162 ± 13	63 ± 5	27 ± 2	-	-
Bancada 6: Encarregado	MP-46	circulando	-	17 ± 1	5,6 ± 0,4	1,6 ± 0,1	0,26 ± 0,03	16
	MP-52	furadeira/serra márm.	G. Branco Polar	20 ± 2	6,5 ± 0,5	2,1 ± 0,2	0,38 ± 0,04	18
Bancada 9: cortador LU (corte úmido)	MP-40	próx. bancada 7 corte tradicional	G.Rubi Red/G.Corumbá/ G.Pto. S. Gabriel	23 ± 2	11 ± 1	3,3 ± 0,3	0,17 ± 0,02	5,2
	MP-44	próx. bancada 7 corte tradicional	G.Rubi Red/G.Corumbá/ G.Pto.S. Gabriel	4,7 ± 0,4	2,3 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,085 ± 0,008	9,8
Bancada 10: cortador JO (corte úmido)	MP-48	corte tradicional	G. Amêndoa Ornam/ G.Café /G.Bco Polar	9,9 ± 4	4,4 ± 0,4	1,9 ± 0,2	0,54 ± 0,05	28
Bancada 2: área (acabamento seco)	MP-33	desbaste banc. 1 e 3 bancadas paradas	Ardósia/G.Am. Sta .Cecília	32 ± 3	8,7 ± 0,7	3,7 ± 0,3	0,74 ± 0,07	20
	MP-36			2,4 ± 0,2	1,1 ± 0,1	0,45 ± 0,04	0,026 ± 0,003	5,7
Bancada 5/7: área (acabamento seco)	MP-39	desbaste banc. 5, 6 e 7	G. Amêndoa Rio/ G.Rubi Red/M.Crema Marfil	38 ± 3	16 ± 1	5,8 ± 0,5	0,75 ± 0,07	13
	MP-43	banc. 5 e 6 paradas	G.Rubi Red / colagem	14 ± 1	4,9 ± 0,4	1,7 ± 0,1	0,21 ± 0,02	13
Bancada 9/10: área (corte úmido)	MP-47	corte úmido	Granitos diversos	10 ± 1	4,6 ± 0,4	1,5 ± 0,1	0,24 ± 0,02	15
	MP-50	corte úmido	Granitos diversos	13 ± 1	5,5 ± 0,4	2,1 ± 0,2	0,44 ± 0,04	21
Conc. média geom. (acabam)	-	-	-	41	15	4,7	0,4	
Desv.padr.geom.(acabam)	-	-	-	1,0	1,0	1,4	2,0	

Tabela V.4: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria PA

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	% Sílica na fração respirável
Bancada 1: acabador AD (acabamento seco)	PA-51	desbaste/lixamento	M.Bco Especial/G.Cinza Mauá/ G. Bco Itaúnas	118 ± 9	45 ± 4	7,7 ± 0,6	0,070 ± 0,007	0,9
	PA-56	desbaste/colagem	M.Bco Especial/G.Cinza Mauá/ G. Bco Itaúnas	29 ± 2	9,3 ± 0,7	3,4 ± 0,3	0,26 ± 0,03	7,7
Bancada 4: CI (acabamento seco/exaustão)	PA-53	desbaste	M.Carrara/G.Verde Pavão	34 ± 3	10 ± 1	2,5 ± 0,2	-	-
	PA-57	colagem/desbaste/serra már.	G.Pto S.Gabriel	21 ± 2	7,9 ± 0,6	3,1 ± 0,2	0,15 ± 0,01	4,9
Bancada 3: MA (acabamento seco/exaustão)	PA-60	polimento/desbaste/lustro	M.Bco Piguês/G.Cinza Corumbá	24 ± 2	7,0 ± 0,6	3,5 ± 0,3	0,17 ± 0,02	4,8
	PA-64	desbaste	G.Am. Sta. Cecília	35 ± 3	17 ± 1	6,2 ± 0,5	0,80 ± 0,08	13
	PA-68	desbaste/brilho água	M.Travertino	34 ± 3	12 ± 1	2,8 ± 0,2	-	-
Bancada 5: HE (acabamento seco/exaustão)	PA-61	colagem/desbaste/serra már.	M.Boticcino	10 ± 1	5,0 ± 0,4	1,4 ± 0,1	-	-
	PA-65	desbaste	M.Boticcino	20 ± 2	9,5 ± 0,8	2,6 ± 0,2	-	-
Bancada 10: GI (acabamento seco/exaustão)	PA-66	desbaste/colagem	G.Bco Minas/M.Travertino	61 ± 5	24 ± 2	5,5 ± 0,4	0,023 ± 0,002	0,4
	PA-71	desbaste	M.Travertino/M.Bco Piguês	44 ± 3	13 ± 1	5,6 ± 0,4	0,14 ± 0,01	2,5
Bancada 11: AN (acabamento seco/exaustão)	PA-69	disco desbaste	M.Travertino	103 ± 8	36 ± 3	9,8 ± 0,8	-	-
Bancada 13: J. PE (corte úmido)	PA-54	corte tradicional	G.Bco Itaúnas/M.Branco	7,5 ± 0,6	4,9 ± 0,4	2,4 ± 0,2	0,12 ± 0,01	5,0
	PA-58	corte tradicional	G.VerdeUbatuba/G.BcoVeneziano	7,9 ± 0,6	5,3 ± 0,4	2,4 ± 0,2	0,085 ± 0,008	3,5
Bancada 15: CA (corte úmido)	PA-62	corte tradicional	G.Sta.Cecília/G.Verde Corumbá	6,1 ± 0,5	3,4 ± 0,3	0,99 ± 0,08	0,048 ± 0,005	4,8
	PA-70	corte tradicional e circulação	G.P.S.Gabriel/G.V.Ubatuba	11 ± 1	5,0 ± 0,4	1,6 ± 0,1	0,14 ± 0,01	8,6
Bancada 2: área (acabamento seco)	PA-55	bancadas 1 e 3	M.Bco Especial/G.Bco Itaúnas	6,7 ± 0,5	3,4 ± 0,3	1,1 ± 0,1	0,026 ± 0,003	2,3
	PA-59	em atividade	M.Bco Especial/G.Bco Itaúnas	6,4 ± 0,5	2,9 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,066 ± 0,007	5,6
Bancada 7: área (acabamento seco/exaustão)	PA-63	colagem/serra mármore	G.S.Cecília/G.Pto Tijuca	13 ± 1	4,7 ± 0,4	1,7 ± 0,1	0,094 ± 0,009	5,5
	PA-67	colagem/serra mármore	G.Pto Tijuca	6,7 ± 0,5	3,8 ± 0,3	1,4 ± 0,1	0,047 ± 0,005	3,3
Conc. média geom (acabam)	-	-	-	36	13	3,9	0,1	
Desv.padrão geom. (acabam)	-	-	-	2,0	1,9	1,7	3,6	

Tabela V.5: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria GR

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)
Bancada 5: acabador EL (acabamento úmido)	GR-79	lixadeira pneumática	M. Bco Esp.Santo	2,6 ± 0,2	1,6 ± 0,1	0,80 ± 0,06	-
Bancada 4: acabador EL (acabamento úmido)	GR-89	lixadeira pneumática	M.Carrara/M.Travertino	4,0 ± 0,3	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1	-
Bancada 5: acabador JF (acabamento úmido)	GR-84	lixadeira pneumática	Limestone	3,7 ± 0,3	2,2 ± 0,2	0,81 ± 0,06	-
Bancada 2: acabador JF (acabamento úmido)	GR-88	lixadeira pneumática	G.Pto S.Gabriel/M. BcoComum/Cimento	1,7 ± 0,1	0,86 ± 0,07	0,30 ± 0,02	-
Bancada 4: acabador JA (acabamento úmido)	GR-80	lixadeira pneumática	M. Carrara	1,8 ± 0,1	0,74 ± 0,06	0,25 ± 0,02	-
Bancada 7: cortador AR (corte úmido)	GR-81	corte tradicional	M.Travertino Romano	3,2 ± 0,2	1,8 ± 0,1	0,51 ± 0,04	-
Bancada 7: cortador AR (corte úmido)	GR-85	corte tradicional	G.Amêndoa Nobre/G.Pto S.Gabriel/ M.Travertino Romano/M.Bco Comum	3,3 ± 0,3	1,7 ± 0,1	0,57 ± 0,05	-
Bancada 8: cortador AD (serra ponte)	GR-86	corte automático	M.Carrara	2,6 ± 0,2	1,3 ± 0,1	0,45 ± 0,04	-
Bancada 7/8: área (corte úmido)	GR-87	corte tradicional	Diversos Granitos e Mármore	2,5 ± 0,2	1,4 ± 0,1	0,54 ± 0,04	-
Bancada 1/2: área (acabamento úmido)	GR-82	lixadeira pneumática	M.Carrara/M.Travertino Romano/M.Branco Esp.Santo	1,4 ± 0,1	0,54 ± 0,04	0,16 ± 0,01	-
Bancada 2/3: área (acabamento úmido)	GR-90	lixadeira pneumática	G.PtoS.Gabriel/M.Carrara/M.Travertino Romano	0,99 ± 0,08	0,62 ± 0,05	0,28 ± 0,02	-
Bancada 4: área (acabamento úmido)	GR-91	lixadeira pneumática	M.Carrara/M.Travertino Romano	1,1 ± 0,1	0,56 ± 0,04	0,23 ± 0,02	-
Conc. média geom. (geral)	-	-	-	2,2	1,1	0,4	-
Desv.padrão geom.. (geral)	-	-	-	1,6	1,6	1,8	-
Conc. média geom.(acabam)	-	-	-	2,6	1,3	0,57	-
Desv.padrão geom.(acabam)	-	-	-	1,5	1,6	2,0	-

Tabela V.6: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria PM

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	% Sílica na fração respirável
Bancada 1: acabador SE (acabamento c/exaustão)	PM-92	lixamento	M.Bco Piguês	8,0 ± 0,6	5,6 ± 0,4	3,2 ± 0,3	-	-
	PM-96	lixamento	M.Crema Marfil / M.Bco.Piguês	3,7 ± 0,3	1,8 ± 0,1	0,40 ± 0,03	-	-
Bancada 2: acabador JJ (acabamento c/exaustão)	PM-93	lixamento	M.Bco Piguês	23 ± 2	10 ± 1	3,1 ± 0,2	-	-
	PM-97	desbaste/colagem	Limestone	6,4 ± 0,5	3,4 ± 0,3	0,98 ± 0,08	-	-
Bancada 4: acabador JN (acabamento c/exaustão)	PM-94	lixamento/brilho	M.Travertino	8,0 ± 0,6	4,0 ± 0,3	1,0 ± 0,1	-	-
	PM-98	lixamento/brilho	M. Travertino	9,0 ± 0,7	5,8 ± 0,5	1,4 ± 0,1	-	-
Bancada 3:acabador JO (acabamento c/exaustão)	PM-100	lixamento/colagem	M.Bco Esp.Santo	5,0 ± 0,4	3,3 ± 0,3	1,5 ± 0,1	-	-
	PM-104	lixamento/colagem	M.Crema Marfil	3,8 ± 0,3	1,8 ± 0,1	0,7 ± 0,06	-	-
Bancada 5: acabador FR (acabamento c/exaustão)	PM-101	lixamento	Silestone	2,1 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,42 ± 0,03	-	-
	PM-105	lixamento	Silestone	2,0 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,51 ± 0,04	-	-
Bancada 6: acabador EG (acabamento c/exaustão)	PM-102	lixamento/colagem	M.Bco Especial	9,2 ± 0,7	3,6 ± 0,3	1,1 ± 0,1	-	-
	PM-106	lixamento/colagem	M.Bco Especial	8,5 ± 0,7	4,2 ± 0,3	1,2 ± 0,1	-	-
Bancada 7: acabador OD (acabamento c/exaustão)	PM-103	polimento	M.Calacata Oro	4,2 ± 0,3	1,5 ± 0,1	0,48 ± 0,04	-	-
	PM-107	polimento	M.Calacata Oro	2,8 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,48 ± 0,04	-	-
Bancada 14: cortador HU (boleadeira)	PM-108	trabalho a úmido	M.Bco.Piguês/G.PretoTijuca/ M.Crema Marfil	2,6 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,48 ± 0,04	-	-
Bancada 9: cortador JA (corte úmido)	PM-109	corte tradicional	G.Bco.Polar/G.Preto Tijuca	1,7 ± 0,1	0,80 ± 0,06	0,35 ± 0,03	0,023 ± 0,002	6,5
Bancada 6/7: área (acabamento/exaustão)	PM-95	lixamento	M.Travertino/M.Calacata Oro	1,8 ± 0,1	0,35 ± 0,03	0,14 ± 0,01	-	-
	PM-99	lixamento	M.Travertino/M.Calacata Oro	5,1 ± 0,4	1,2 ± 0,1	0,42 ± 0,03	-	-
Bancada 1/2: área (acabamento/exaustão)	PM-110	lixamento	M.Crema/M.RossoVerona	1,3 ± 0,1	0,80 ± 0,06	0,40 ± 0,03	-	-
Bancada 4/5: área (acabamento/exaustão)	PM-111	lixamento	G.Cinza Corumba/Silestone/ M.Bco Piguês	1,2 ± 0,1	0,68 ± 0,05	0,39 ± 0,03	0,012 ± 0,001	3,0
Conc. média geom. (acabam)	-	-	-	5,5	2,8	0,9	-	
Desv.padrão geom. (acabam)	-	-	-	2,0	2,0	2,0	-	

Tabela V.7: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria IT

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	%Sílica na fração respirável
Bancada 2: acabador JQ (acabamento seco)	IT-112	lixamento	G. Cinza Corumbá	31 ± 2	12 ± 1	4,1 ± 0,3	0,20 ± 0,02	4,9
	IT-117	lixamento/desbaste	M.Statuario Machia Oro/ G.Cinza Corumbá	40 ± 3	20 ± 2	7,0 ± 0,6	0,63 ± 0,06	9,1
Bancada 6: acabador ED (acabamento seco)	IT-113	lixamento	G.Amarelo S.Francisco/ G.Cinza Corumbá/Limestone	52 ± 4	26 ± 2	8,0 ± 0,6	0,18 ± 0,02	2,3
	IT-118	lixamento/colagem	Limestone Bege	39 ± 3	17 ± 1	4,6 ± 0,4	0,35 ± 0,03	7,7
Bancada 8: acabador JB (acabamento seco)	IT-114	lixamento/polimento	G.Pto. S.Gabriel	25 ± 2	9,1 ± 0,7	3,0 ± 0,2	0,12 ± 0,01	3,9
	IT-119	desbaste/colagem	G.Bco Polar	29 ± 2	12 ± 1	3,6 ± 0,3	0,45 ± 0,04	12
Bancada 7: acabador AM (acabamento seco)	IT-115	desbaste/colagem	G.Verde Ubatuba	43 ± 3	17 ± 1	4,1 ± 0,3	0,19 ± 0,02	4,5
	IT-116	polimento/colagem	G.Verde Ubatuba/ G.B.Minas/Limestone Bege	19 ± 2	11 ± 1	2,9 ± 0,2	0,25 ± 0,02	8,7
Bancada 9: acabador BE (acabamento seco)	IT-120	colagem/lixa/serra már	G.Preto S.Gabriel	44 ± 3	11 ± 1	6,3 ± 0,5	0,15 ± 0,01	2,3
	IT-124	colagem/lixa/serra már	G.Preto S.Gabriel	10 ± 1	3,6 ± 0,3	2,5 ± 0,2	0,14 ± 0,01	5,5
Bancada 1: acabador JO (acabamento seco)	IT-121	lixa/rebolo/serra márm	M.Statuario Machia Oro	5,6 ± 0,4	3,8 ± 0,3	4,4 ± 0,3	0,06 ± 0,01	1,4
	IT-125	serra márm/lixadeira	M.Statuario Machia Oro	59 ± 5	18 ± 1	3,8 ± 0,3	0,028 ± 0,003	0,7
Bancada 12: acabador FR (acabamento seco)	IT-122	lixadeira/colagem	M.Crema/G.S.Cecília/G.Aqualux	30 ± 2	16 ± 1	5,6 ± 0,4	0,09 ± 0,01	1,6
	IT-126	lixadeira/furadeira	G.Aqualux	7,8 ± 0,6	3,4 ± 0,3	1,5 ± 0,1	0,20 ± 0,02	14
Bancada 3: acabador DO (acabamento seco)	IT-123	lixadeira/colagem	M.Travertino Romano	49 ± 4	18 ± 1	5,4 ± 0,4	0,07 ± 0,01	1,3
	IT-127	resina/lixadeira	M.Travertino Romano	32 ± 3	11 ± 1	3,3 ± 0,3	0,06 ± 0,01	1,8
Encarregado	IT-130	circulação	geral	9,0 ± 0,7	3,5 ± 0,3	0,84 ± 0,07	0,042 ± 0,004	5,0
	IT-134	circulação	geral	23 ± 2	8,1 ± 0,6	4,0 ± 0,3	0,39 ± 0,04	9,9
Bancada 17: cortador JS (corte tradicional)	IT-128	corte úmido	Silestone/M.Crema Marfil	9,2 ± 0,7	4,3 ± 0,3	1,2 ± 0,1	0,06 ± 0,01	5,4
	IT-132	corte úmido	G.Bco Polar	4,4 ± 0,4	2,1 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,028 ± 0,003	3,8
Bancada 15: cortador RE (corte tradicional)	IT-129	corte úmido	Granitos diversos	9,5 ± 0,8	4,2 ± 0,3	1,1 ± 0,1	0,06 ± 0,01	5,7
	IT-133	corte úmido	Granitos diversos	3,4 ± 0,3	1,8 ± 0,1	0,56 ± 0,04	0,028 ± 0,003	5,0
Bancada 8: área (acabamento seco)	IT-131	centro do acabamento	geral	22 ± 2	9,2 ± 0,7	2,8 ± 0,2	0,09 ± 0,01	3,2
	IT-135	centro do acabamento	geral	5,5 ± 0,4	3,0 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,027 ± 0,003	3,7
Conc. média geom. (acabam)	-	-	-	27	11	4,0	0,2	
Desv.padrão geom. (acabam)	-	-	-	2,0	1,9	1,5	2,2	

Tabela V.8 Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria BA

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	%Sílica na fração resp.
Bancada 1a: acabador MA (acabam.seco/exaustão)	BA-136	lixadeira/serra márm.	M.Bco Esp.Sto/M.Bco.Piguês	18 ± 1	9,2 ± 0,7	2,2 ± 0,2	-	-
	BA-140	lixa/serra márm./colagem	M.Bco Esp.Sto	5,0 ± 0,4	4,0 ± 0,3	2,0 ± 0,2	-	-
Bancada 1b: acabador AI (acabam.seco/exaustão)	BA-137	lixadeira	M.Bco Esp.Sto	3,6 ± 0,3	1,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1	-	-
	BA-141	lixadeira	M.Bco Esp.Sto	3,3 ± 0,3	1,6 ± 0,1	0,9 ± 0,1	-	-
Bancada 2a: acabador ED (acabam.seco/exaustão)	BA-138	lixadeira/serra márm.	M.Trav./M.Bco Piguês	12 ± 1	4,8 ± 0,4	1,6 ± 0,1	-	-
	BA-142	lixadeira/serra márm.	M.Carrara	8,2 ± 0,7	4,1 ± 0,3	1,6 ± 0,1	-	-
Bancada 1: acabador DI (acabam.seco/exaustão)	BA-144	polimento	M.Bco Piguês	12 ± 1	4,8 ± 0,4	1,6 ± 0,1	0,023 ± 0,002	1,8
	BA-148	polimento	M.Bco Piguês	8,2 ± 0,7	4,1 ± 0,3	1,6 ± 0,1	0,043 ± 0,004	5,8
Bancada 5: cortador NO (corte úmido)	BA-145	corte tradicional	M.Bco Piguês/G.Mel Paraná	1,2 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,28 ± 0,02	0,035 ± 0,003	8,9
	BA-149	corte tradicional	M.Bco Especial/M.Travertino	2,2 ± 0,2	1,4 ± 0,1	0,61 ± 0,05	0,043 ± 0,004	7,1
Bancada 12: cortador MV (corte úmido)	BA-146	corte tradicional	Pedras Goiás	1,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,53 ± 0,04	0,09 ± 0,01	17
	BA-150	corte tradicional	Pedras Goiás	1,9 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,17 ± 0,02	21
Bancada 6: cortador AN (corte úmido)	BA-152	corte tradicional	M.Branco Comum	1,1 ± 0,1	0,64 ± 0,05	0,34 ± 0,03	-	-
	BA-156	corte tradicional	M.Bco Especial	0,45 ± 0,04	0,22 ± 0,02	0,12 ± 0,01	-	-
Bancada 13: coratador FR (corte úmido)	BA-153	corte tradicional	M.Trav/Pedras Goiás	1,5 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,42 ± 0,03	-	-
	BA-157	corte tradicional	Pedras Goiás	1,1 ± 0,1	0,68 ± 0,05	0,37 ± 0,03	-	-
Bancada 11: cortador EG (corte úmido)	BA-154	corte tradicional	M.Bco Especial/Ardósia/ P.Goiás	1,0 ± 0,1	0,51 ± 0,04	0,46 ± 0,04	0,050 ± 0,005	11
	BA-158	corte tradicional	P.Goiás/Arenito Paraná/ M.Bco Especial	1,1 ± 0,1	0,57 ± 0,05	0,28 ± 0,02	0,026 ± 0,003	9,3
Bancada 1/2: área (acabamento seco)	BA-139	lixamento	M.Bco Esp.Sto/M.Traveetino	3,2 ± 0,3	1,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,044 ± 0,004	5,9
	BA-143	lixamento	M.Bco Esp.Sto	1,3 ± 0,1	0,64 ± 0,05	0,36 ± 0,03	0,045 ± 0,004	12
Bancada 2/3: área (acabamento seco)	BA-147	colagem/desbaste	M.Bco Piguês/Ardósia	0,8 ± 0,1	0,66 ± 0,05	0,39 ± 0,03	0,021 ± 0,002	5,5
	BA-151	desbaste	M.Trav./M.Bco Piguês/ P.Goiás/Ardósia	0,8 ± 0,1	0,57 ± 0,05	0,46 ± 0,04	0,022 ± 0,002	4,8
Bancada 2: área (acabamento seco)	BA-155	polimento/lixamento	Ardósia/M.Bco Especial	14 ± 1	6,6 ± 0,5	2,1 ± 0,2	0,044 ± 0,004	2,1
	BA-159	lixamento/colagem	Ardósia/M.Bco Especial	8,8 ± 0,7	4,3 ± 0,3	1,4 ± 0,1	-	-
Conc. média geom. (acabam)	-	-	-	7,5	3,7	1,4	0,03	
Desv.padrão geom (acabam)	-	-	-	1,8	1,8	1,5	1,5	

Tabela V.9: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria SK

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	%Sílica na fração respirável
Bancada 1: acabador RA (acabamento seco)	SK-161	lixamento manual	M, Dally Realy/G.Verde Candeias	2,4 ± 0,2	1,1 ± 0,1	0,40 ± 0,03	0,029 ± 0,003	7,2
Bancada 2: acabador JC (acabamento seco)	SK-160	lixamento manual	M.DallyRealy/M.BcoEspecial	3,0 ± 0,2	1,3 ± 0,1	0,35 ± 0,03	-	-
Bancada 2: Acabador JU (acabamento seco)	SK-162	lixamento manual	M.DallyRealy	3,0 ± 0,2	1,6 ± 0,1	0,41 ± 0,03	-	-
Bancada 6: cortador DA (corte úmido)	SK-163	corte tradicional	M.Bco Especial/M.Travertino	2,9 ± 0,2	1,1 ± 0,1	0,43 ± 0,03	-	-
Bancada 6: acabador RA (corte úmido)	SK-166	corte tradicional	M.DallyRealy	16 ± 1	13 ± 1	8,4 ± 0,7	-	-
Bancadas 3 e 5: ccrtrador DA (corte úmido)	SK-165	lixamento manual corte c/serra mármore	M.Dally Realy/G.CinzaPalha	9,6 ± 0,8	6,9 ± 0,6	3,5 ± 0,3	0,08 ± 0,08	2,3
Bancadas 1 e 5: cortador JR (corte úmido)	SK-167	lixa manual/serra márm. corte tradicional	M. Dally Realy/G.Cinza Palha	9,9 ± 0,8	9,6 ± 0,8	3,8 ± 0,3	0,13 ± 0,01	3,4
Bancada 2: área (acabamento seco)	SK-164	lixamento manual	M. Dally Realy	1,0 ± 0,1	0,64 ± 0,05	0,39 ± 0,03	-	-
Bancada 2: área (acabamento seco)	SK-169	lixamento manual	M. Dally Realy	5,1 ± 0,4	3,1 ± 0,2	1,6 ± 0,1	0,012 ± 0,001	0,7
Conc. média geom. (acabam)	-	-	-	2,8	1,3	0,4	-	
Desv.padrão geom. (acabam)	-	-	-	1,1	1,2	1,1	-	
Conc. média geom. (corte)	-	-	-	4,0	7,7	12	0,1	
Desv.padrão geom. (corte)	-	-	-	3,6	3,1	2,1	2,9	

Tabela V.10: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria AL

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	%Sílica na fração respirável
Bancada 1: acabador AD (acabamento seco/exaustão)	AL-192	colagem/lixamento	M.Crema Marfil	48 ± 4	22 ± 2	5,2 ± 0,4	0,023 ± 0,002	0,4
	AL-193	lixamento/corte	M.Crema Marfil	44 ± 4	23 ± 2	6,7 ± 0,5	0,25 ± 0,02	3,6
Bancada 2: acabador PE (acabamento seco /eaustão)	AL-180	desbaste/lixamento	G. Bco Polar	26 ± 2	12 ± 1	3,2 ± 0,2	0,10 ± 0,01	3,2
	AL-184	desbaste/lixamento	G.Amarelo Ornam./G.Bco Polar	21 ± 2	11 ± 1	2,6 ± 0,2	0,22 ± 0,02	8,5
Bancada 3: acabador FR (acabamento seco /exaustão)	AL-170	lixamento	M.Boticcino	20 ± 2	11 ± 1	2,5 ± 0,2	0,071 ± 0,007	2,9
	AL-175	colagem/lixamento	M.Boticcino	43 ± 3	20 ± 2	6,2 ± 0,5	0,10 ± 0,01	1,6
Bacada 6: acabador JL (acabamento seco)	AL-179	desbaste/lixamento	M.Compac Bco Micro	40 ± 3	20 ± 2	4,0 ± 0,3	0,10 ± 0,01	2,6
	AL-187	desbaste/lixamento	G.Bco Sibéria/M.Boticcino	34 ± 3	12 ± 1	2,9 ± 0,2	0,403 ± 0,004	1,4
Bancada 7: acabador VA (acabamento seco)	AL-171	colagem/desbaste/lixa	G. Aqualux/M.Crema Marfil	43 ± 3	17 ± 1	5,4 ± 0,4	0,074 ± 0,007	1,4
	AL-176	lixamento/brilho água	M. Crema Marfil	42 ± 3	17 ± 1	4,8 ± 0,4	0,15 ± 0,01	3,1
Bancada 8: acabador BE (acabamento seco)	AL-188	desbaste/lixamento	M.Boticcino/G.Bco Polar	34 ± 4	10 ± 1	3,0 ± 0,2	0,16 ± 0,02	5,2
	AL-181	polimento/lixamento	G.Bco Itaúnas	17 ± 1	7,2 ± 0,6	2,4 ± 0,2	0,08 ± 0,01	1,1
	AL-185	desbaste/lixamento	Granitos diversos	28 ± 2	11 ± 1	3,2 ± 0,2	0,25 ± 0,02	7,8
Bancada 10: acabador JA (acabamento seco)	AL-172	colagem/desbaste/lixa	G. Aqualux	40 ± 3	15 ± 1	6,4 ± 0,5	0,49 ± 0,05	7,6
	AL-177	colagem/desbaste/lixa	G. Aqualux	54 ± 4	19 ± 1	6,1 ± 0,5	0,43 ± 0,04	7,1
Encarregado	AL-182	lixamento	M.Crema/M.Boticcino/G.BcoPolar	15 ± 1	7,1 ± 0,6	1,8 ± 0,1	0,063 ± 0,006	3,4
	AL-186	circulação	-	9,0 ± 0,7	3,9 ± 0,3	1,5 ± 0,1	0,12 ± 0,01	8,3
Bancada 14: cortador JA (corte úmido)	AL-183	sem atividade	-	6,2 ± 0,5	3,2 ± 0,3	0,9 ± 0,1	0,044 ± 0,004	3,3
	AL-189	corte tradicional	M.Bco Comum/G.Bco Polar	14 ± 1	6,6 ± 0,5	1,8 ± 0,1	0,023 ± 0,002	1,3
	AL-195	corte tradicional	M.Bco Polar/G.Bco Itaúnas	16 ± 1	8,3 ± 0,7	2,6 ± 0,2	0,27 ± 0,03	10
Bancada 13/14: área (corte úmido)	AL-190	corte tradicional	M.Bco Comum/G.Bco Polar	24 ± 2	7,0 ± 0,6	2,4 ± 0,2	0,044 ± 0,004	1,8
	AL-196	corte tradicional	G.Bco Polar/G.Bco Itaúnas	15 ± 1	8,0 ± 0,7	3,2 ± 0,2	0,35 ± 0,03	11
Bancada 8: área (acabamento seco)	AL-173	lixamento/colagem	G.Alfa Marinha	44 ± 4	16 ± 1	3,9 ± 0,3	0,050 ± 0,005	1,3
	AL-178	desbaste	G.Alfa Marinha/G.Aqualux	36 ± 3	12 ± 1	3,7 ± 0,3	0,16 ± 0,02	4,3
Bancada 1/6: área (acabamento seco)	AL-191	desbaste/lixamento	M.Crema Marfil/G.Bco Polar	21 ± 2	11 ± 1	2,9 ± 0,2	0,09 ± 0,01	3,1
	AL-197	desbaste/lixamento	G.Bco Polar/M.Crema Marfil	37 ± 3	15 ± 1	4,3 ± 0,3	0,25 ± 0,02	5,9
Cabine do encarregado: área	AL-194	dentro da cabine	cabine com porta fechada	4,2 ± 0,3	3,0 ± 0,2	1,7 ± 0,1	0,15 ± 0,01	9,0
Conc. média geom. (acabam)	-	-	-	30	13	3,6	0,1	
Desv.padrão geom. (acabam)	-	-	-	1,6	1,6	1,6	2,2	

Tabela V.11: Concentrações de particulado nas frações inalável, torácica, respirável e de sílica durante a avaliação da exposição ocupacional a poeiras na Marmoraria DE

Ponto de amostragem Função do trabalhador	Amostra	Principais atividades	Rochas trabalhadas	Conc.fração inalável (mg/m ³)	Conc.fração torácica (mg/m ³)	Conc.fração respirável (mg/m ³)	Concentração sílica resp. (mg/m ³)	%Sílica na fração respirável
Bancada 2: acabador JO (acabamento seco)	DE-198	rebolo/lixadeira/desbaste	M.Travertino/G.Bco Minas	22 ± 2	12 ± 1	3,7 ± 0,3	0,25 ± 0,02	6,6
	DE-203	rebolo/lixa/desbaste	G.BcoMinas/G.Verde Candeias	17 ± 1	7,4 ± 0,6	3,6 ± 0,3	0,28 ± 0,03	7,8
Bancada 2:acabador ML (acabamento seco)	DE-217	ajudante transporte	G.Bco Minas	14 ± 1	6,7 ± 0,5	2,3 ± 0,2	0,15 ± 0,02	4,5
	DE-222	lixamento	M.Travertino/G.As de Paus	25 ± 2	13 ± 1	4,4 ± 0,4	0,021 ± 0,002	0,5
Bancada 3: acabador MC (acabamento seco)	DE-199	colagem/serra márm./lixa	M.Travertino	26 ± 2	12 ± 1	3,6 ± 0,3	0,041 ± 0,004	1,1
	DE-204	serra márm/furadeira/lixa	M.Travertino/M.Crema Marfil	56 ± 4	22 ± 2	10 ± 1	0,030 ± 0,003	0,3
Bancada 6: acabador PA (acabamento seco)	DE-200	furadeira/serra márm/rebolo	G.Amarelo Capri/G.Bco Polar	49 ± 4	19 ± 2	5,3 ± 0,4	0,30 ± 0,03	5,7
	DE-205	rebolo/lixa	G.Bco Polar/M.Travertino	26 ± 2	8,3 ± 0,7	4,7 ± 0,4	0,24 ± 0,02	5,2
Bancada 1: acabador VA (acabamento seco)	DE-207	rebolo/lixa/colagem	G.Cinza Mauá	23 ± 2	8,1 ± 0,7	4,5 ± 0,4	0,36 ± 0,04	8,2
	DE-211	lixamento	M.Travertino	24 ± 2	13 ± 1	4,4 ± 0,4	0,038 ± 0,004	0,9
Encarregado	DE-208	circulação/acabamento	G.Preto S.Gabriel	6,9 ± 0,6	3,7 ± 0,3	1,6 ± 0,1	0,054 ± 0,005	3,4
	DE-212	circulação pelo ambiente	-	15 ± 1	8,1 ± 0,7	3,2 ± 0,3	0,10 ± 0,01	3,0
Bancada 9: cortador AR (corte úmido)	DE-209	circulação no acabamento	G.Bco Portinari/G.S.Cecília/ G.Bco.Minas/G.Verde Ubatuba	6,3 ± 0,5	3,8 ± 0,3	1,8 ± 0,1	0,027 ± 0,003	1,4
	DE-213	corte tradicional/serra márm.	G.Sta.Cecília/M.Bco Piguês	15 ± 1	8,9 ± 0,7	3,5 ± 0,3	0,07 ± 0,01	2,0
Bancada 8: cortador CR (corte úmido)	DE-216	corte tradicional	M.Travertino/G.Cinza Mauá	5,0 ± 0,4	3,3 ± 0,3	1,6 ± 0,1	0,010 ± 0,001	0,5
	DE-224	corte tradicional	G.Cinza Mauá	5,1 ± 0,4	2,8 ± 0,2	1,7 ± 0,1	0,031 ± 0,003	1,8
Bancada 4: área (acabam seco/exaustão)	DE-201	colagem/serra márm/lixa	M.Travertino	22 ± 2	11 ± 1	4,4 ± 0,4	0,12 ± 0,01	2,9
	DE-206	lixamento	M.Crema Marfil	24 ± 2	11 ± 1	4,5 ± 0,4	0,06 ± 0,01	1,3
Bancada 6: área (acabamento/corte)	DE-210	desbaste/colagem	G.Bco Minas	7,8 ± 0,6	4,4 ± 0,4	1,8 ± 0,1	0,08 ± 0,01	4,3
	DE-214	desbaste/lixamento	G.Bco Minas	47 ± 4	21 ± 2	8,8 ± 0,7	1,2 ± 0,1	14
Bancada 3: área (acabamento)	DE-218	lixamento/rebolo	M.Travertino/G.Bco Itaúnas	15 ± 1	6,8 ± 0,5	2,5 ± 0,2	0,024 ± 0,002	1,0
	DE-221	lixamento/serra márm	M.Travertino/G.Bco Itaúnas/ M.Bco.Comum	28 ± 2	12 ± 1	4,4 ± 0,4	0,024 ± 0,002	0,5
Bancada 6: área (acabamento/corte)	DE-220	furadeira/desbaste/serra	M.Bco.Comum/G.Bco Itaúnas	8,9 ± 0,7	3,8 ± 0,3	2,2 ± 0,2	0,06 ± 0,01	2,9
	DE-223	colagem/serra márm/lixa	M.Bco Comum	12 ± 1	5,5 ± 0,4	1,7 ± 0,1	0,031 ± 0,003	1,8
Conc. média geom (acabam)	-	-	-	22	10	3,9	0,1	
Desv.padrão geom. (acabam)	-	-	-	1,7	1,6	1,6	2,8	

5.1.1 Condições gerais de trabalho e resultados obtidos

As atividades executadas nas marmorarias caracterizaram-se por apresentarem valores mais elevados de concentrações de poeira no setor de acabamento a seco. Isso foi devido, principalmente, ao uso das lixadeiras e das serras manuais elétricas. Embora os trabalhadores desse setor possuíssem suas próprias bancadas de trabalho, eles necessitavam circular por todo o ambiente para auxiliar os seus colegas na movimentação e transporte de chapas ou peças pesadas. Isso os expunha não somente à poeira gerada por suas próprias atividades, mas também à poeira gerada em outras bancadas de trabalho.

O uso de ferramentas portáteis e acessórios abrasivos alternava-se durante o dia de trabalho, dependendo da fase do processo. Os abrasivos para o primeiro desbaste da rocha, como os discos de desbaste, os rebolos e as lixas mais grossas, eram os principais responsáveis pela geração da maior quantidade de poeira. Esse efeito ficou evidente nas marmorarias que faziam uso predominante desses acessórios, como mostram as Tabelas V.3, V.4, V.7, V.10 e V.11. Para a maioria das amostras coletadas no setor de acabamento dessas marmorarias, as concentrações de poeiras inalável e respirável apresentavam-se acima dos valores de referência de 10 mg/m^3 e 3 mg/m^3 , respectivamente.

Durante a fase de colagem para montagem de peças compostas ou durante a atividade de lustro, a concentração de poeira diminuía, uma vez que o trabalhador não estava exposto diretamente à poeira gerada por sua própria ferramenta. Porém, esse trabalhador ainda era afetado pelas atividades executadas nas bancadas próximas. Como as atividades se alternavam, o nível da concentração de poeira dependia do tempo utilizado para a realização de cada tarefa. A influência dessa alternância pode ser comparativamente observada entre as várias amostragens da mesma marmoraria, mostrada em todas as tabelas.

O ritmo de trabalho e o comportamento individual de alguns trabalhadores também resultaram em níveis diferenciados nas concentrações obtidas durante as amostragens.

Esse efeito pode ser observado a partir dos resultados obtidos para as amostras MP-32 e MP-35 da Tabela V.3, as amostras PA-51 e PA-69 da Tabela V.4, a amostra PM-93 da Tabela V.6 e as amostras DE-200 e DE-204 da Tabela V.11. Essas amostras foram coletadas em trabalhadores que realizavam suas atividades com ritmo mais acelerado, quando comparados com os demais da mesma empresa.

As amostragens de área de todas as marmorarias apresentaram valores de concentrações de poeira menores que as das amostragens individuais no setor de acabamento a seco. A Figura 5.1 demonstra que a maior quantidade de poeira se concentrava ao redor da fonte geradora e, por isso, era coletada em maior quantidade pelo amostrador colocado no peito do trabalhador, quando comparado com o amostrador de área colocado do lado oposto da bancada de trabalho.



Figura 5.1: Trabalhador executando operação de acabamento em granito com disco de desbaste acoplado a lixadeira elétrica manual

As medidas realizadas no setor de corte indicaram concentrações de poeira mais baixas que as das amostragens do setor de acabamento a seco. Como o corte de rochas é

executado tipicamente com auxílio de água, há uma contenção na geração de poeira, apesar de uma pequena quantidade de partículas ainda ser projetada juntamente com a água.

Em nenhuma das marmorarias havia segregação entre o setor de acabamento a seco e o setor de corte. Dependendo da proximidade das bancadas de acabamento, o setor de corte era mais ou menos afetado pela poeira gerada naquele setor. Além disso, os trabalhadores do corte deixavam seus postos de trabalho para transportar peças até o setor de acabamento ou orientar seus colegas sobre a montagem das mesmas. Esse efeito é exemplificado pela amostra MP-40 da Tabela V.2.

Outra prática dos serradores era o corte de partes das chapas com uma serra-mármore. As chapas eram cortadas diretamente sobre os suportes triangulares do pátio de estocagem. Essa tarefa era executada a seco na maioria das vezes. Algumas vezes o corte era efetuado com ligeiro umedecimento produzido a partir de água contida em uma garrafa plástica. Esse procedimento, que visava o resfriamento do disco diamantado durante o corte, era insuficiente para contenção da poeira gerada. Esse efeito pode ser observado nos dados da amostra DE-213 da Tabela V.11.

A marmoraria SK foi uma empresa incomum. Nessa marmoraria, o proprietário orientou seus trabalhadores a não usarem lixadeiras elétricas. Esse comportamento teve o objetivo de impedir a geração de poeira e, conseqüentemente, manter o mais baixo possível os níveis de concentração de poeira no ar. Assim, as tarefas de acabamento foram realizadas manualmente com uma lixa umedecida em água. Dessa maneira, as medições realizadas nessa marmoraria permitiram uma interpretação mais significativa dos resultados obtidos no setor de corte, uma vez que este sofria pouca interferência de poeiras geradas pelo setor de acabamento da empresa. Por outro lado, já que o setor de corte não apresentava motivo de preocupação para a empresa, seus trabalhadores executaram suas atividades rotineiras livremente. Essa liberdade permitiu uma melhor observação da influência do uso da serra-mármore para o corte de partes menores das chapas de rochas diretamente sobre os cavaletes de estocagem. Os resultados dessa análise podem ser observados nas amostras SK-165, SK-166 e SK-167 da Tabela V.9.

A marmoraria GR foi o exemplo prático mais importante para a verificação da eficiência da umidificação como medida de controle para a contenção da poeira. A Tabela V.5 mostra que os valores de concentração dos setores de acabamento e corte são próximos, com pequena variação entre as amostragens realizadas em três dias diferentes. As concentrações das amostras de área forneceram valores de concentração mais baixos ainda, pois correspondem a coletas em pontos mais afastados dos equipamentos utilizados pelos trabalhadores.

As concentrações médias no setor de acabamento a seco da marmoraria SK (onde não havia lixamento a seco) apresentaram valores próximos aos das concentrações encontradas para o setor de acabamento a úmido da marmoraria GR. Essa comparação foi interpretada como um primeiro indicativo da eficiência do controle da poeira por umidificação (Tabelas V.5 e V.9).

5.1.2 Exposição média dos trabalhadores de marmorarias

Apesar das características peculiares de cada marmoraria, as atividades e procedimentos aplicados em cada uma delas eram similares. Situações que não podiam ser observadas em uma marmoraria, devido à fase do processo produtivo, eram medidas durante a avaliação em outra marmoraria. Dessa maneira, para se obter um panorama mais geral da exposição dos trabalhadores em marmorarias, considerando as várias possibilidades das ocorrências típicas desse ramo de atividade, a melhor alternativa à interpretação dos dados foi a análise conjunta de todos os resultados obtidos.

Uma vez que o setor de acabamento a seco foi identificado como o principal responsável pelos elevados níveis de exposição dos trabalhadores à poeiras, as amostras coletadas nas marmorarias foram separadas em três grupos distintos: 108 amostras individuais coletadas no setor de acabamento a seco (operadores de lixadeiras, chicote e serra-mármore), 41 amostras de área (exposição indireta dos trabalhadores) e 38 amostras coletadas em atividades executadas a úmido (corte tradicional, serra-ponte e boleadeira).

Foram excluídas desses grupos as 12 amostras provenientes da marmoraria GR. Essas amostras foram analisadas à parte, como modelo de um processo produtivo totalmente a úmido, sem a interferência de poeira gerada a seco. Essa separação foi mais conveniente, uma vez que nas demais marmorarias os setores de corte a úmido eram contaminados pelos setores de acabamento a seco (situação mais comum nas marmorarias de São Paulo).

A poeira coletada do ar das marmorarias era constituída da mistura do particulado gerado pelas diversas rochas trabalhadas (mármore, granito, etc.). Das 108 amostras individuais coletadas no setor de acabamento a seco, a sílica livre cristalizada foi identificada e quantificada em 69 amostras. Das 38 amostras coletadas em atividades executadas a úmido, 30 continham sílica. Nas 41 amostras de área, foi identificada e quantificada a sílica em 34 delas.

Com o objetivo de avaliar a situação de exposição dos trabalhadores, conforme o procedimento descrito no item 4.5.1, os valores das concentrações nas frações inalável, torácica e respirável e das concentrações de sílica de cada um dos três grupos foram ordenados para posterior cálculo de posições (P_i) no diagrama de distribuição de probabilidades, por meio da fórmula (4.3). Os valores de probits foram calculados pela expressão (4.4).

Os valores de média e desvio padrão geométricos para cada uma das concentrações de poeira nos três grupos citados anteriormente foram obtidos a partir dos gráficos de probabilidade de frequência acumulada (Figuras 5.2 a 5.7) e estão reunidos na Tabela V.12. A concentração média geométrica corresponde ao valor de *probit* = 0, e o desvio padrão geométrico foi obtido dividindo-se o valor correspondente ao *probit* = 1 pelo valor correspondente ao *probit* = 0.

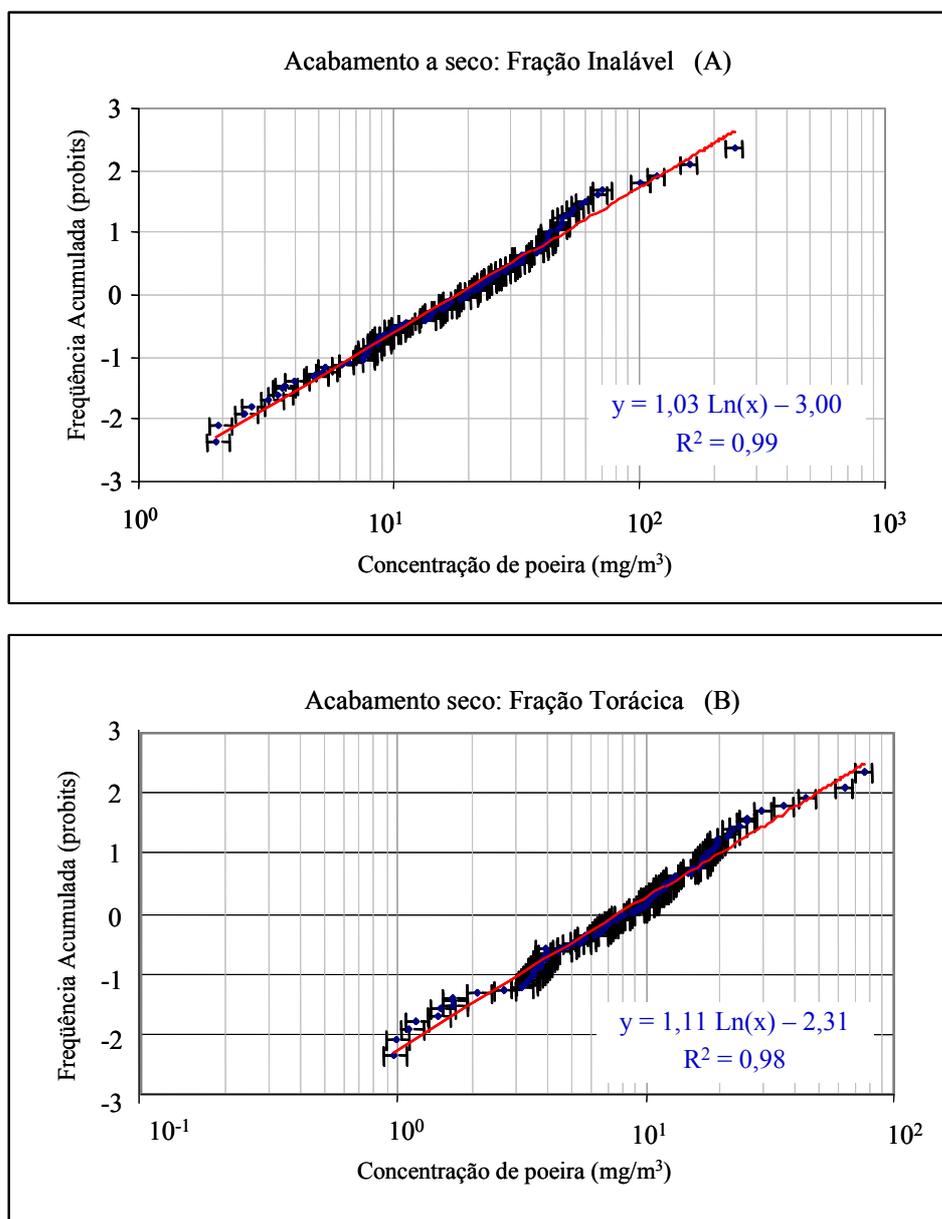


Figura 5.2: Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para as concentrações de poeira na fração inalável (A) e na fração torácica (B) do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas

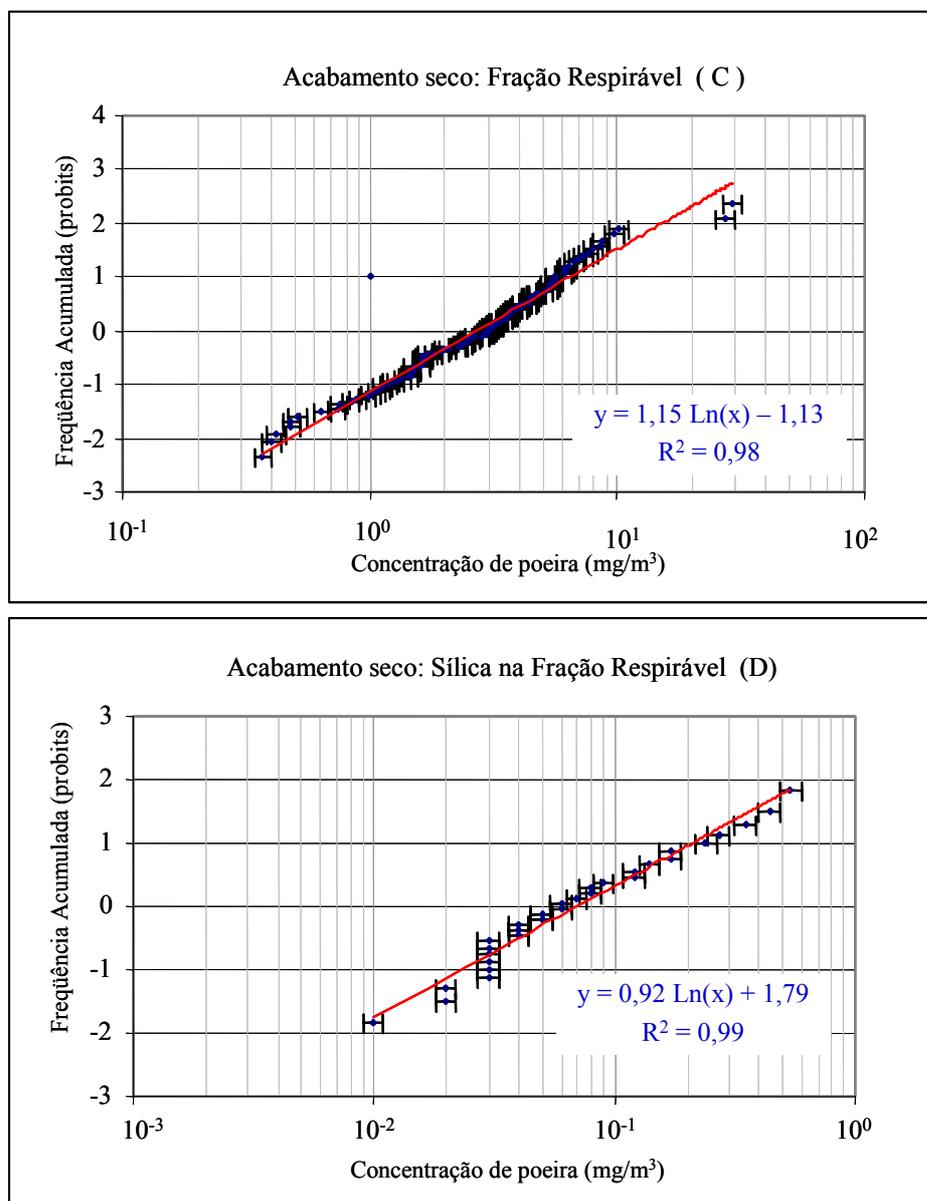


Figura 5.3: Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para as concentrações de poeira na fração respirável (C) e de sílica na fração respirável (D) do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas

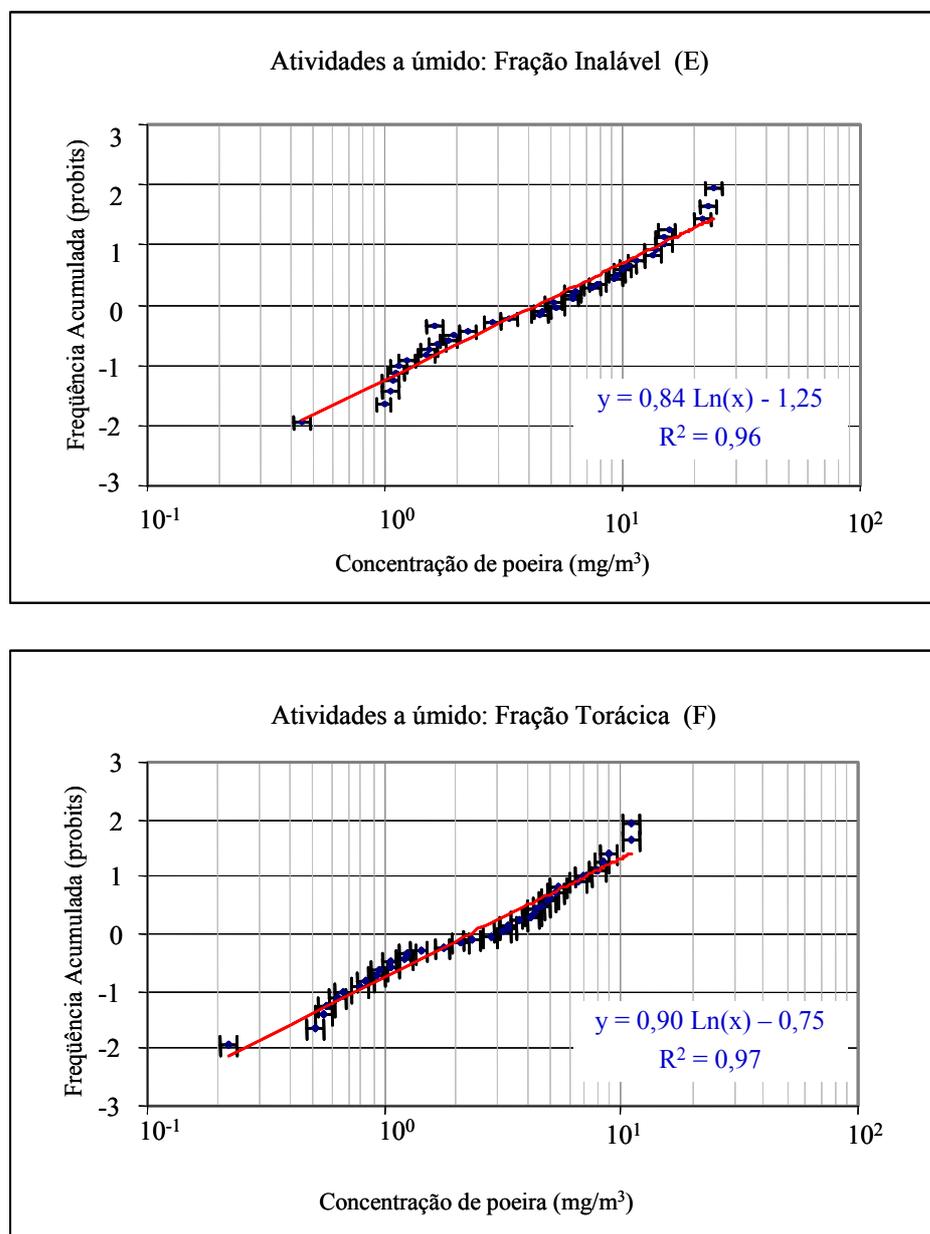


Figura 5.4: Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para as concentrações de poeira na fração inalável (E) e na fração torácica (F) das atividades executadas a úmido das marmorarias avaliadas

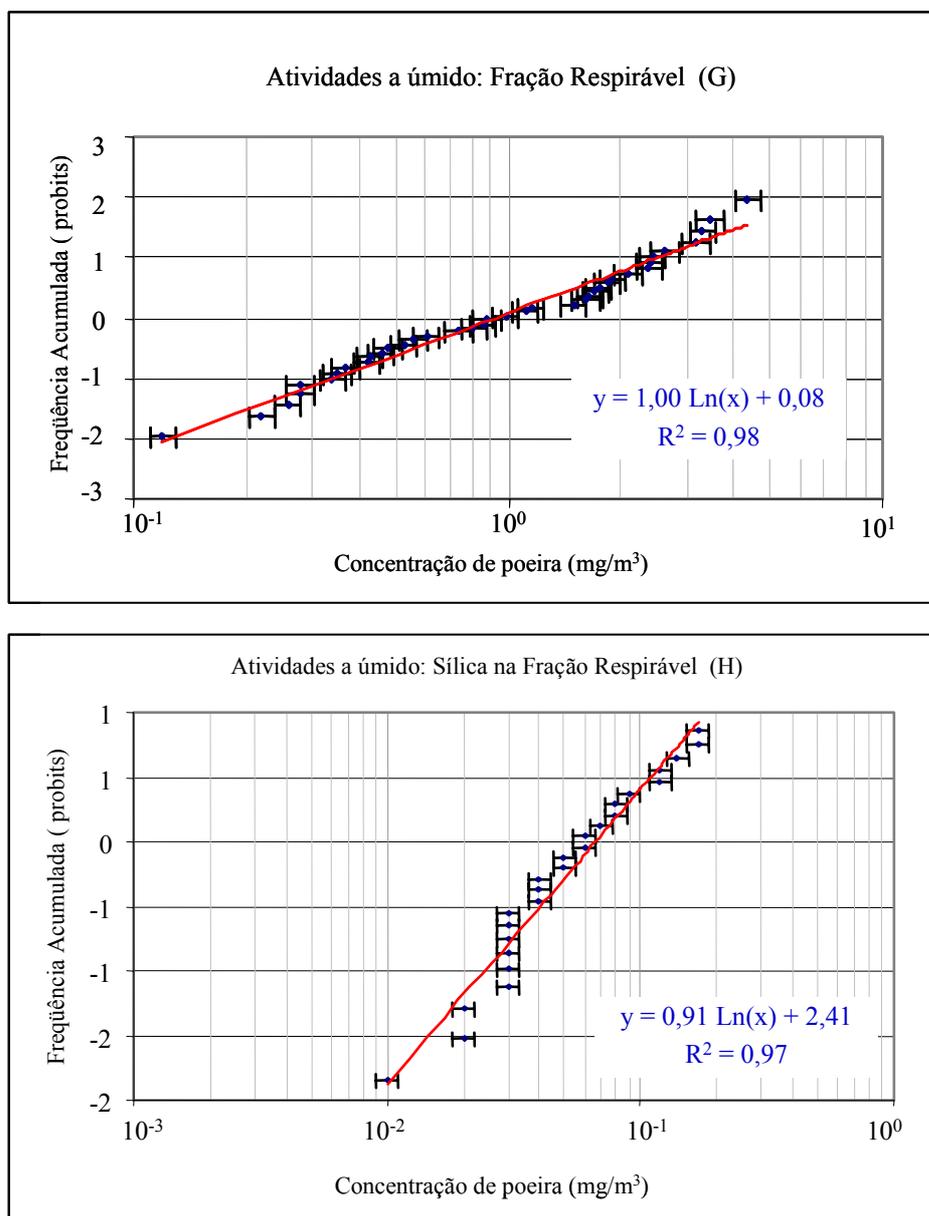


Figura 5.5: Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para as concentrações de poeira na fração respirável (G) e de sílica na fração respirável (H) das atividades executadas a úmido das marmorarias avaliadas

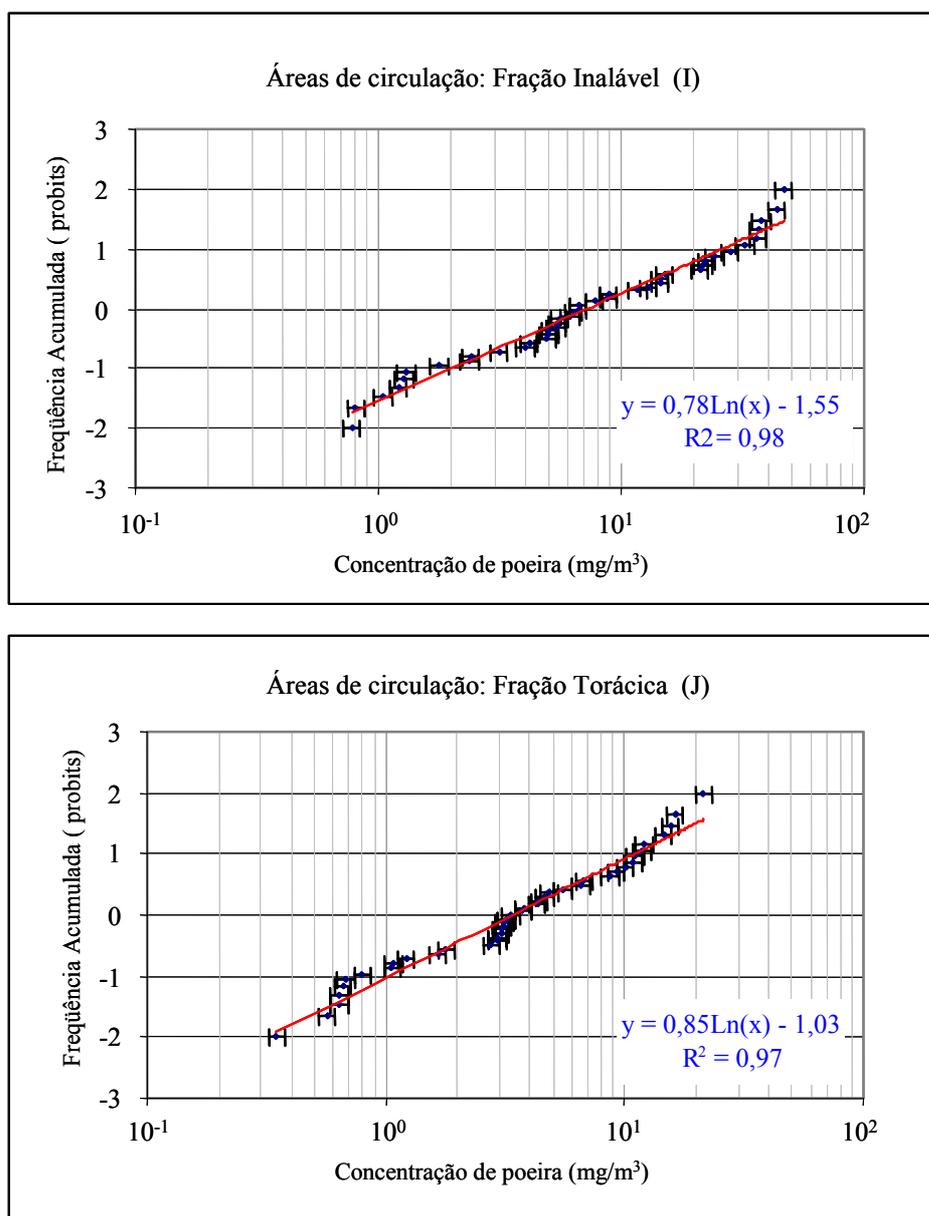


Figura 5.6: Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para as concentrações de poeira na fração inalável (I) e na fração torácica (J) das áreas de circulação do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas

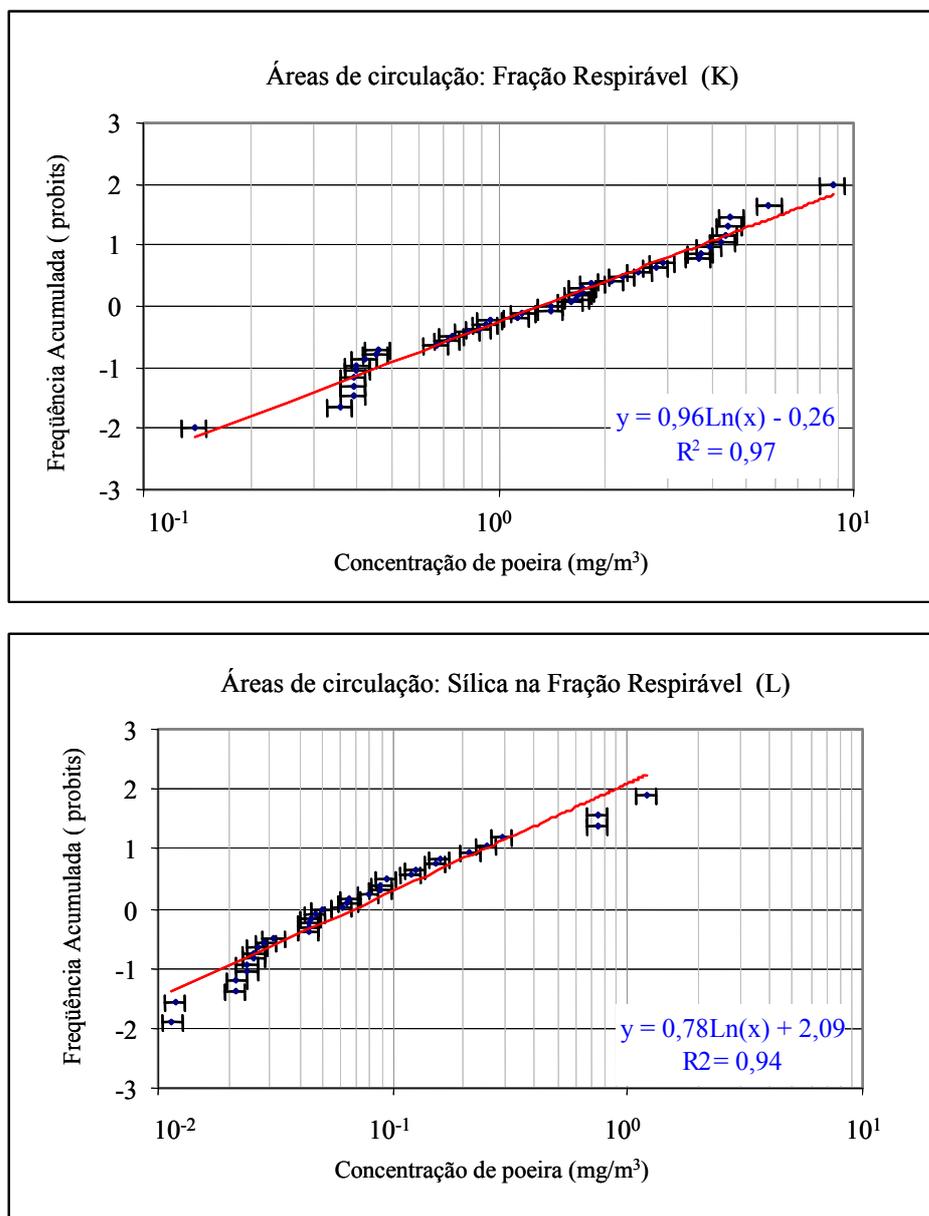


Figura 5.7: Probabilidade de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para as concentrações de poeira na fração respirável (K) e de sílica na fração respirável (L) das áreas de circulação do setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas

Sendo $VR = 10 \text{ mg/m}^3$ para a fração inalável, $VR = 3 \text{ mg/m}^3$ para a fração respirável e $VR = 0,05 \text{ mg/m}^3$ para sílica na fração respirável, a probabilidade (em % correspondente ao *probit*) do valor de referência (VR) ser ultrapassado é o complemento do valor lido nos diagramas das Figuras 5.2 a 5.7.

Tabela V.12: Exposição média dos trabalhadores das marmorarias nas frações inalável, torácica, respirável e à sílica na fração respirável e probabilidades do valor de referência ser ultrapassado em cada fração de poeira avaliada

EXPOSIÇÃO MÉDIA		Conc. Mínima e Máxima medidas (mg/m^3)	Conc.média geom. (mg/m^3)	Desvio Padrão geométrico	Intervalo de confiança da conc. média (mg/m^3)	Probab. valor referência ser ultrapassado
acabamento a seco	Fr. Inalável	2,0 – 245	18	2,6	18 – 19	70%
	Fr. Torácica	1,0 – 76	8,0	2,5	7,5 – 8,5	*
	Fr. Respirável	0,4 – 29	2,7	2,3	2,3 – 3,1	40%
	Sílica	ND – 1,2	0,2	2,6	0,0 – 0,8	84%
área de circulação	Fr. Inalável	0,8 – 47	7,3	3,6	6,2 – 8,4	38%
	Fr. Torácica	0,4 – 21	3,3	3,3	2,3 – 4,3	*
	Fr. Respirável	0,1 – 8,8	1,3	2,8	1,9 – 3,7	20%
	Sílica	ND – 1,2	0,1	3,5	0,0 – 1,2	60%
atividades a úmido	Fr. Inalável	0,5 – 24	4,4	3,3	3,3 – 5,5	25%
	Fr. Torácica	0,2 – 11	2,3	3,0	1,3 – 3,3	*
	Fr. Respirável	0,1 – 4,4	0,9	2,5	0,1 – 1,7	8,0%
	Sílica	ND – 0,5	0,1	3,0	0,0 – 1,2	60%

ND = sílica não detectada por DRX

* Não há valor de referência para a fração torácica

Os intervalos de confiança para cada valor médio de concentração obtido graficamente foram calculados com 95% de confiança, conforme descrito no item 4.7.

Os valores apresentados na Tabela V.12 mostram que a situação de exposição dos trabalhadores das marmorarias avaliadas é alarmante. As concentrações médias de poeira em todas as frações avaliadas eram sempre mais elevadas no setor de acabamento a seco, diminuindo nas amostragens de área e do setor de corte, ou seja, à medida que o amostrador se afastava da principal fonte geradora de poeira. Devido à falta de segregação entre as atividades, a poeira gerada no setor de acabamento se dispersava

pelo ambiente de trabalho expondo também os trabalhadores que executavam outras tarefas. As concentrações mínima e máxima mostram a grande variabilidade de valores obtidos.

As altas probabilidades dos valores de referência serem ultrapassados, muito superiores aos 5% propostos por Leidel⁽¹²⁰⁾, mostram que os ambientes não possuem controle ou que esses são ineficientes. Essas probabilidades estimam o risco de exposição dos trabalhadores se forem mantidas aquelas condições ambientais e de trabalho encontradas durante as coletas das amostras.

Partindo do geral para o específico:

- a) A quantidade média de toda a poeira gerada no setor de acabamento (representada pela concentração na **fração inalável**) seria elevada até mesmo para poeiras que não contêm um agente altamente tóxico em sua composição. Entre as marmorarias avaliadas, a concentração média de poeira inalável está duas vezes acima do valor máximo de referência recomendado (10 mg/m^3). Mas entre as amostragens realizadas nesse setor, foram encontrados valores que ultrapassaram o valor de referência em até 24 vezes. A Tabela V.12 também mostra que a concentração para trabalhadores do setor de corte chegou a duas vezes o VR, em uma marmoraria sem controle.
- b) A quantidade média de poeira fina gerada no setor de acabamento (representada pela concentração na **fração respirável**) seria crítica mesmo para poeiras que não contêm sílica. A concentração média de poeira respirável flutuou ao redor do valor de referência recomendado (3 mg/m^3), mas foram encontrados valores que chegavam a 10 VRs.
- c) A poeira gerada em marmorarias, de uma maneira geral, contém sílica. Portanto, as concentrações mencionadas nos tópicos *a* e *b* servem apenas como um indicativo geral das condições ambientais. **A poeira contendo sílica é classificada como pneumoconiótica e cancerígena.** O limite de exposição estabelecido atualmente

para essa poeira é de $0,05 \text{ mg/m}^3$ (VR) com recomendação de redução para $0,025 \text{ mg/m}^3$ a partir de 2005.

Devido à grande diversidade de rochas trabalhadas nas marmorarias avaliadas, a concentração média de sílica variou em até 16 vezes o VR recomendado pela ACGIH em 2004. A probabilidade média de esse valor ser ultrapassado variou de 60 a 84%, sendo que o valor máximo atingido foi de 24 vezes o valor de referência. No setor de corte os trabalhadores estavam expostos a uma concentração média de 1,4 vezes o VR.

Como mostram as Tabelas V.2 a V.11, a poeira suspensa no ar das marmorarias avaliadas era composta de uma mistura contendo até 28% de sílica. Esse teor de sílica na poeira varia em decorrência da composição da rocha trabalhada. Isso explica a amplitude dos intervalos de confiança das médias obtidas para as concentrações de sílica, que podem variar desde zero, quando a rocha trabalhada é um mármore, até qualquer valor dependendo da rocha e das condições ambientais.

A presença de quartzo junto com outros minerais é freqüente em poeiras nos locais de trabalho onde se processam rochas. Como já mencionado em 3.3.1, mesmo que em proporções relativamente pequenas (menores que 10%), o quartzo representa um risco significativo para a saúde do trabalhador exposto a uma elevada concentração total de poeira.

Nessas circunstâncias, recomenda-se a substituição ou a modificação de processos, operações e equipamentos, com o objetivo de se conseguir apreciável redução na geração da poeira. Também se deve eliminar ou diminuir o contato físico entre os trabalhadores e o agente de risco. Obviamente, as modificações não devem introduzir novos riscos e devem ser tecnicamente factíveis a custos aceitáveis.

Como discutido no item 3.3.2, uma das possibilidades para a solução do problema é a introdução da água no processo como um meio de controle da poeira. Os métodos úmidos são, entretanto, mais eficientes quando a água é introduzida no ponto de geração da poeira, de maneira que as partículas se tornem úmidas antes de terem a chance de se

dispersarem pelo ambiente. No corte de rochas, essa técnica já tem sido amplamente utilizada com fornecimento de fluxo contínuo de água sobre a face de corte da ferramenta. Uma grande variedade de ferramentas pneumáticas a úmido também está disponível no mercado para diversas aplicações, mostrando que o processo úmido é factível⁽³⁶⁾.

Entretanto, mesmo quando métodos úmidos são usados, pode haver alguma exposição à poeira. A evaporação da água carregada de poeira pode constituir uma fonte secundária desse agente, o que deve ser evitado e controlado. Além disso, há o perigo de que a presença da água leve os trabalhadores a se descuidarem da sua segurança, acreditando que não estão expostos à poeira. O modelo avaliado a seguir testa essa possível solução.

5.1.3 Marmoraria a úmido: modelo de situação de trabalho

A marmoraria GR foi avaliada como exemplo prático dos resultados alcançados com a adoção da umidificação como medida de controle da exposição à poeira.

A operação de acabamento era executada com lixadeiras pneumáticas movidas com água e ar comprimido. Além de não ter contato direto com o sistema elétrico da ferramenta, o trabalhador também foi aliviado do peso da lixadeira tradicional (cerca de 6 kg) em comparação com a pneumática (cerca de 1,5 kg). O inconveniente desse novo processo é que o trabalhador permanece em um ambiente bastante úmido durante toda a jornada de trabalho.

Para efeito de comparação, os resultados das concentrações de poeiras nas frações inalável e respirável, já apresentados na Tabela V.5, foram tratados para o cálculo da probabilidade de sobreexposição para poucas amostras, conforme descrito no item 4.5.2. Os valores calculados para a determinação da probabilidade da concentração de exposição ultrapassar o valor de referência (P_n) nessas frações são apresentados na Tabela V.13.

Tabela V.13: Valores calculados para a determinação da probabilidade da concentração de exposição ultrapassar o valor de referência (Pn) em uma marmoraria adotada como modelo prático para verificação da eficiência da umidificação como medida de controle para a contenção da poeira

Ponto de Amostragem	Conc. Respirável (mg/m ³)	Conc. Torácica (mg/m ³)	Conc. Inalável (mg/m ³)	CR-resp	CR-inal	Ln CR resp	Ln CR inal
Acabador EL (acab. úmido)	0,8	1,6	2,6	0,3	0,3	-1,3	-1,3
Acabador EL (acab. úmido)	1,3	1,4	4,0	0,4	0,4	-0,9	-0,9
Acabador JF (acab. úmido)	0,8	2,2	3,7	0,3	0,4	-1,3	-1,0
Acabador JF (acab. úmido)	0,3	0,9	1,7	0,1	0,2	-2,3	-1,8
Acabador JA (acab. úmido)	0,2	0,7	1,8	0,1	0,2	-2,5	-1,7
Cortador AR (corte tradic.)	0,5	1,8	3,2	0,2	0,3	-1,8	-1,1
Cortador AR (corte tradic.)	0,6	1,7	3,3	0,2	0,3	-1,7	-1,1
Cortador AD (serra ponte)	0,4	1,3	2,6	0,2	0,3	-1,9	-1,3
Área: corte tradicional	0,5	1,4	2,5	0,2	0,2	-1,7	-1,4
Área: acabamento úmido	0,2	0,5	1,4	0,1	0,1	-2,9	-2,0
Área: acabamento úmido	0,3	0,6	1,0	0,1	0,1	-2,4	-2,3
Área: acabamento úmido	0,2	0,6	1,1	0,1	0,1	-2,6	-2,2
Média dos LnCR (Y)	-	-	-	-	-	-1,9	-1,5
Desvio Padrão LnCR (S)	-	-	-	-	-	0,6	0,5
Z	-	-	-	-	-	-3,17	-3,20
Valor da Tabela IV.3	-	-	-	-	-	0,9992	0,9993
Pn (%)	-	-	-	-	-	0,08	0,07
Conc. média geom. (geral)	0,4	1,1	2,2	-	-	-	-
Desvio padrão geom. (geral)	1,8	1,6	1,6	-	-	-	-

Os valores de Pn para as frações de poeira respirável e inalável mostram que a umidificação de todo o processo produtivo (acabamento e corte) pode reduzir a praticamente zero a probabilidade dos valores de referência ocupacionais serem ultrapassados, se mantidas as condições ambientais avaliadas.

Em comparação, cálculos semelhantes foram realizados para o setor de acabamento a seco de cada uma das marmorarias avaliadas. Como se pode notar pelos dados de Pn apresentados na Tabela V.14, nenhuma das marmorarias que operavam a seco mostrou valores de probabilidade significativamente abaixo de 5% para as frações inalável e respirável, conforme o modelo proposto por Leidel⁽¹²⁰⁾.

Tabela V.14: Probabilidade da concentração de exposição ultrapassar o valor de referência (Pn) no setor de acabamento a seco das marmorarias avaliadas

Código da Marmoraria	Pn (%) Fr.Respirável	Pn (%) Fr.Inalável	Pn (%) Sílica	Medidas de controle
PE	4	54	-	exaustão lateral parcial
MP	67	93	100	não havia
PA	69	97	73	exaustão superior parcial
PM	5	18	-	exaustão lateral completa
IT	44	76	79	não havia
BA	6	24	8	exaustão inferior de
AL	54	91	85	exaustão lateral parcial
DE	72	92	76	exaustão lateral parcial

Isso mostra que as medidas de controle adotadas, até então, ainda não são suficientes para a contenção da poeira. Os sistemas de exaustão devem proteger a todos os trabalhadores expostos, caso contrário, eles só melhoram um pouco a condição geral do ambiente.

Valores de Pn eventualmente mais baixos, como os das marmorarias PE, PM e BA, devem levar em consideração algumas informações adicionais. Segundo os trabalhadores, essas marmorarias não estavam operando em situação de pico de produção. No período de avaliação, essas empresas estavam trabalhando predominantemente com peças em mármore, conseqüentemente, a concentração de sílica era muito baixa ou nula.

Cabe, agora, um estudo mais aprofundado sobre eventuais problemas causados pela umidade excessiva nas marmorarias que optarem pelo sistema de produção a úmido. Esse estudo deve incluir informações detalhadas sobre o tratamento e reaproveitamento da água utilizada e a eventual contaminação dessa água por agentes biológicos.

5.2 Distribuição dos Tamanhos das Partículas Suspensas no Ar dos Ambientes das Marmorarias

A etapa anterior deste estudo mostrou que a quantidade de poeira nos ambientes das marmorarias é excessiva em todas as frações analisadas. A atual etapa visa determinar, dentro da ampla faixa de tamanhos de partículas presentes no ar dos locais de trabalho dos marmoristas, qual o tamanho predominante e se ele é característico para todo o ramo de atividade.

Os filtros correspondentes a cada um dos três estágios coletados com o impactador virtual foram analisados individualmente por microscopia, conforme descrito no item 4.3.2.a. As amostras, quando visualizadas no microscópio, mostravam predominância de partículas originárias da rocha trabalhada no momento da coleta. Em algumas amostras era possível observar uma mistura de partículas originárias de tipos de rochas diferentes, além disso, havia fragmentos das lixas abrasivas e partículas do preparado utilizado para colagem. Todas as partículas coletadas foram medidas, uma vez que o tipo de amostrador usado estipulava que qualquer partícula que nele penetrasse era passível de ser inalada pelo trabalhador.

Os dados de medição obtidos para cada filtro foram, então, reunidos para a composição da curva de distribuição dos tamanhos das partículas coletadas nas marmorarias. Os valores reunidos foram ordenados e classificados em intervalos de classe de igual comprimento logarítmico de diâmetro e apresentados como distribuições das frequências acumuladas em função do diâmetro máximo do intervalo de classe. Os valores obtidos podem ser observados nas Tabelas A.1 a A.11 encontradas no Apêndice.

Os dados de medição foram agrupados por semelhança de ferramenta utilizada, pois, inicialmente, esperava-se encontrar diferenças marcantes nos tamanhos das partículas produzidas por diferentes gramaturas de lixas. As Figuras 5.8 a 5.10 mostram que, independente da ferramenta utilizada, cerca de 90% das partículas amostradas em todas as marmorarias avaliadas possuíam diâmetro inferior a 10 μm .

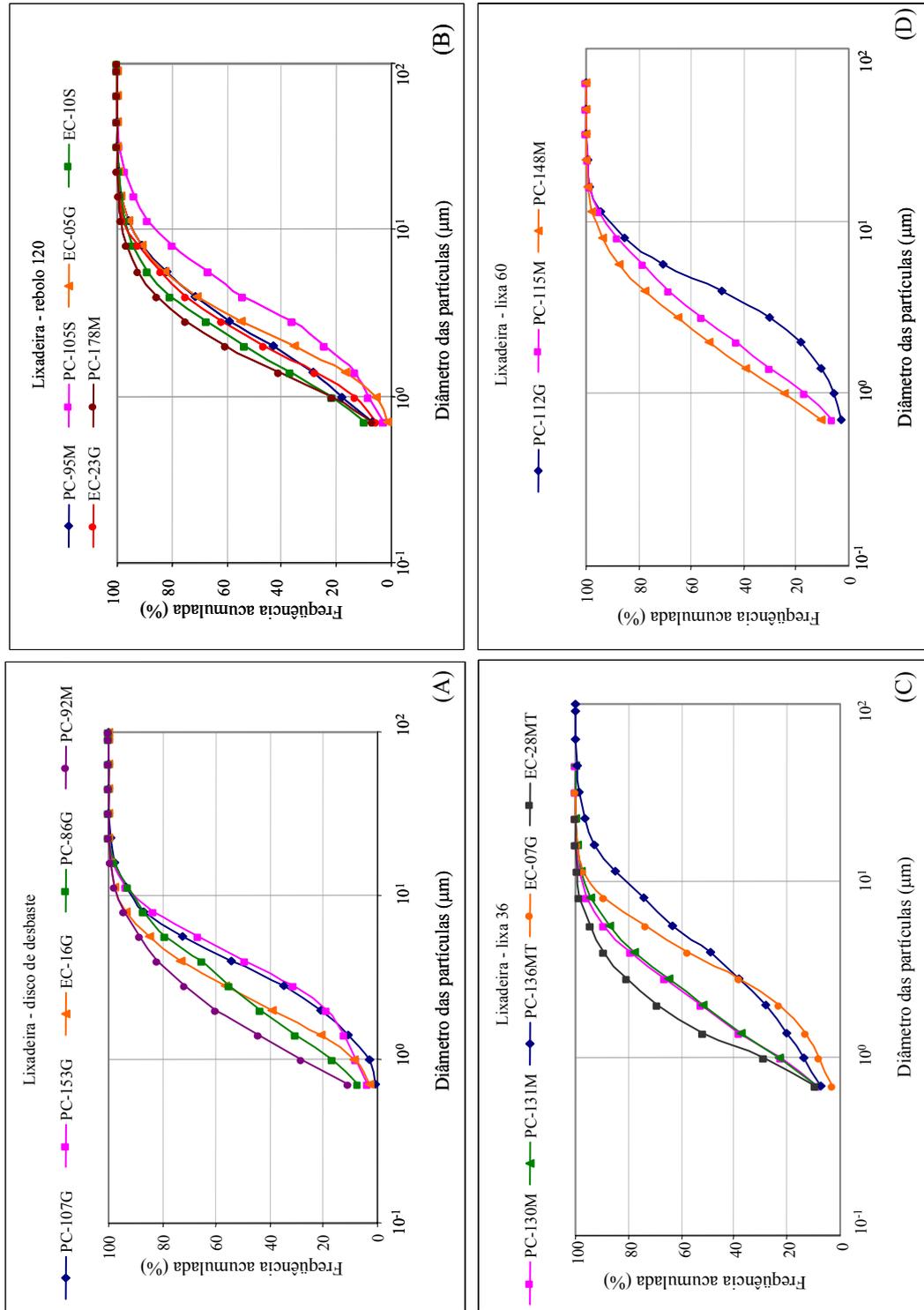


Figura 5.8: Frequência acumulada para os diâmetros das partículas de poeira coletadas em marmorarias junto a operadores de lixadeiras com disco de desbaste (A), rebolo 120 (B), lixa N°36 (C), lixa N°60 (D).

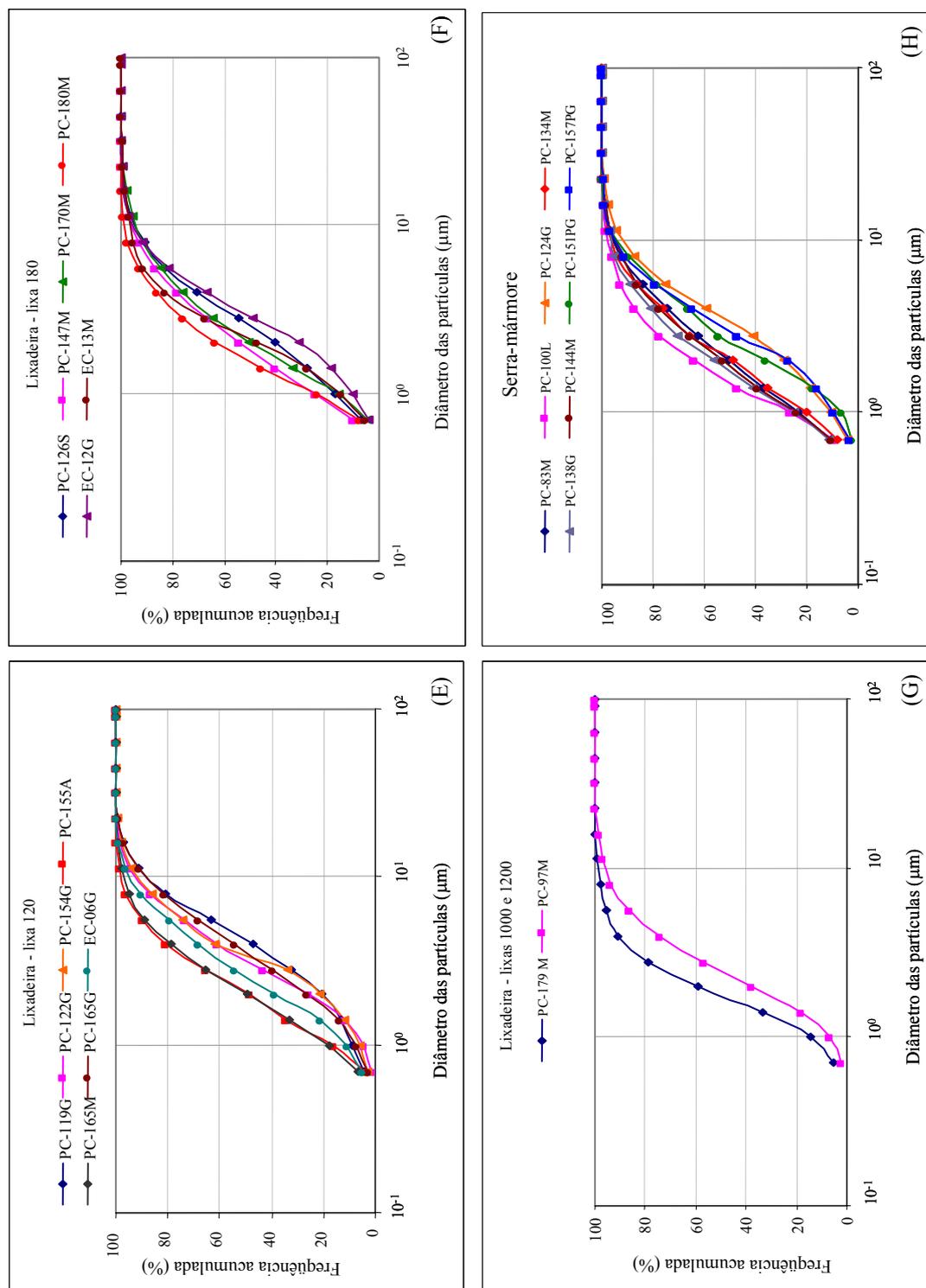


Figura 5.9: Frequência acumulada para os diâmetros das partículas de poeira coletadas em marmorarias junto a operadores de lixadeiras com lixa N°120 (E), lixa N°180 (F), lixas N°1000 e 1200 (G), serra-mármore (H)

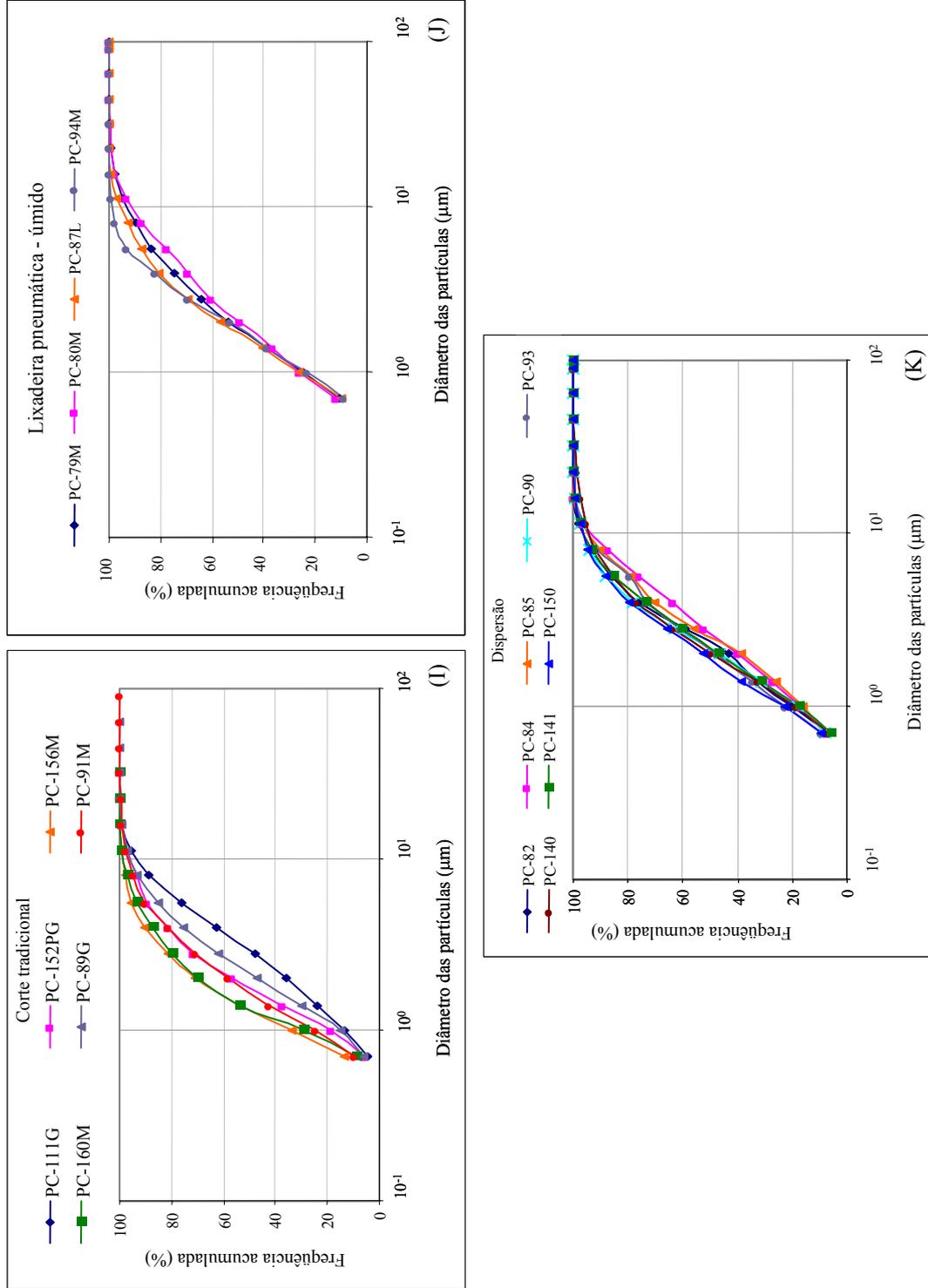


Figura 5.10: Frequência acumulada para os diâmetros das partículas de poeira coletadas em marmorarias junto a operadores de serras de bancada para corte tradicional (I), lixadeira pneumática (J) e em áreas de circulação (K) .

As amostras coletadas junto às atividades executadas a úmido (corte e acabamento a úmido) e aquelas de pontos mais afastados da fonte de geração da poeira (dispersão) mostraram distribuições de tamanhos semelhantes às das atividades executadas a seco. Esse comportamento mostra que as partículas produzidas são tipicamente finas, com a maioria dos tamanhos dentro da fração respirável.

5.2.1 Tamanho predominante das partículas presentes nos ambientes das marmorarias

A homogeneidade de comportamento das partículas, dentro da mesma fração de interesse (respirável), possibilitou a reunião dos resultados de medição em um único grupo para a interpretação conjunta dos dados e a determinação da faixa de tamanhos de partícula predominante em atividades de marmoraria.

A Tabela V.15 apresenta os dados de medição das 61 amostras analisadas reunidos para construção de uma única distribuição de tamanhos. Esses dados também são apresentados na Figura 5.11, na forma de distribuições de probabilidade de frequência acumulada (em unidades de *probits*), para a distribuição global dos tamanhos das partículas geradas por atividades executadas em marmorarias.

A partir da Figura 5.11, foram obtidos os valores de 2,2 μm para a média geométrica e de 2,4 para o desvio padrão geométrico dos diâmetros das partículas. A média geométrica corresponde ao *probit* = 0 (indicado na Figura 5.11 como DMC), e o desvio padrão geométrico foi obtido dividindo-se o valor correspondente ao *probit* = 1 pelo valor correspondente ao *probit* = 0.

Assim, para $N = 61$ amostras, estima-se que com 95% de confiança, o diâmetro médio dessas partículas esteja no intervalo de **1,6 a 2,8 μm** (referente ao diâmetro esférico equivalente da área projetada da partícula obtido por microscopia).

Tabela V.15: Distribuição de frequência global dos tamanhos das partículas geradas por atividades executadas em marmorarias. Os resultados foram obtidos, por meio da utilização da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	NºPartículas por classe	Frequência por classe (%)	Freq. acumulada (%)	Valor de <i>Probit</i>
0,5 – 0,7	0,7 ± 0,1	10.142	6,9	6,9	-1,5
0,7 – 1,0	1,0 ± 0,1	16.949	11,6	18,5	-0,9
1,0 – 1,4	1,4 ± 0,1	21.441	14,6	33,1	-0,4
1,4 – 2,0	2,0 ± 0,2	23.005	15,7	48,8	0,0
2,0 – 2,8	2,8 ± 0,3	21.239	14,5	63,3	0,3
2,8 – 4,0	4,0 ± 0,4	19.513	13,3	76,6	0,7
4,0 – 5,6	5,6 ± 0,6	14.267	9,7	86,3	1,1
5,6 – 8,0	8,0 ± 0,8	10.224	7,0	93,3	1,5
8,0 – 11,3	11 ± 1	5.654	3,9	97,1	1,9
11,3 – 16,0	16 ± 2	2.735	1,9	99,0	2,3
16,0 – 22,6	23 ± 2	997	0,7	99,7	2,7
22,6 – 32,0	32 ± 3	344	0,2	99,9	3,0
32,0 – 45,2	45 ± 4	113	0,1	100,0	3,4
45,2 – 64,0	64 ± 6	-	-	-	-
64,0 – 90,5	90 ± 9	-	-	-	-
90,5 – 100,0	100 ± 10	-	-	-	-
TOTAL		146.661	100		

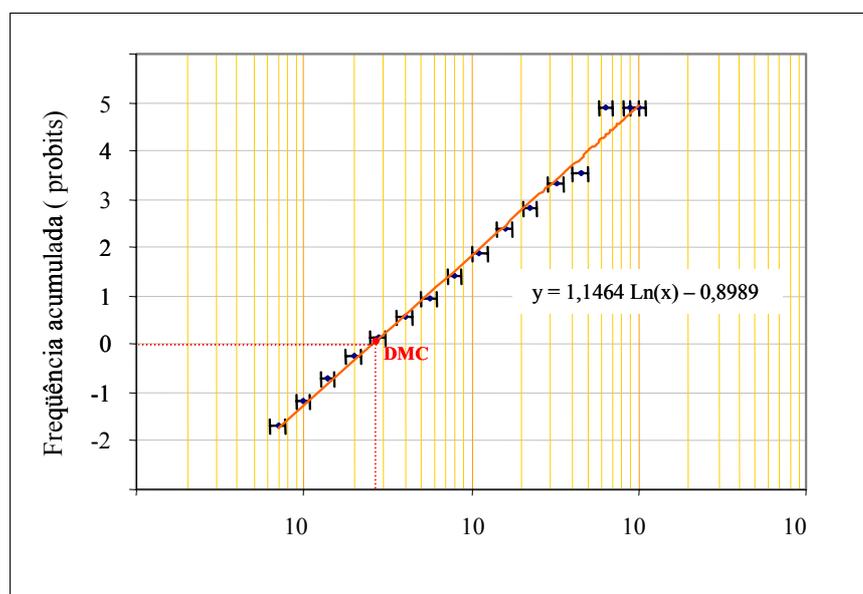


Figura 5.11: Probabilidades de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para a distribuição global dos tamanhos das partículas geradas por atividades executadas em marmorarias. DMC representa o valor do diâmetro médio por contagem obtido por microscopia

Sabendo-se que o diâmetro de interesse para as aplicações em higiene ocupacional é o diâmetro aerodinâmico, é necessário que se faça uma conversão dos valores obtidos aplicando a expressão (4.7). Para essa conversão foi adotado um valor médio de densidade para mármore e granito de $\rho_p = 2,7 \text{ g/cm}^3$. E para o fator de correção de forma foi adotado o valor aplicado às partículas de quartzo ($\chi = 1,36$).

Com isso, o intervalo de diâmetros medidos por microscopia se desloca de um fator de aproximadamente 1,4. Logo, o **diâmetro aerodinâmico médio** das partículas coletadas em marmorarias encontra-se no intervalo de **2,2 a 3,9 μm** . De acordo com a Tabela III.3, as partículas dessa faixa de tamanhos contribuem com 50 a 90% de probabilidade de penetração em massa nos alvéolos pulmonares.

A Figura 5.11 também mostra que 95% das partículas medidas possuíam um diâmetro geométrico (d_e) menor que 10 μm (ou ainda, que 92% teriam diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm , correspondente a $d_e = 7 \mu\text{m}$). Esse resultado confirma que a poeira gerada em marmorarias está predominantemente na fração respirável.

Essas informações ainda podem ser complementadas por meio das equações de conversão de Hatch-Choate. O diâmetro médio obtido pela análise da Figura 5.11, sendo $d_e = \text{DMC}$ (diâmetro médio por contagem em número medido pela técnica de microscopia), foi convertido em diâmetro mediano em massa (DMM) e diâmetro mediano em superfície de contato (DMS), por meio das Equações 4.8 e 4.9 com $\sigma_g = 2,4$.

Assim, para $\text{DMM} = \text{DMC} \exp(3 (\ln \sigma_g)^2)$ e $\text{DMS} = \text{DMC} \exp(2 (\ln \sigma_g)^2)$, os valores obtidos foram, respectivamente, $\text{DMM} = 22 \mu\text{m}$ e $\text{DMS} = 10 \mu\text{m}$, conforme representado na Figura 5.12. Logo, essas conversões estimam que:

- 50% da massa do particulado suspenso no ar das marmorarias é constituída por partículas menores que 22 μm ($d_a = 31 \mu\text{m}$);

- 50% da área de superfície de contato dessa poeira é constituída por partículas menores que $10 \mu\text{m}$ ($d_a = 14 \mu\text{m}$).

Como 92% das partículas amostradas têm diâmetro aerodinâmico menor que $10 \mu\text{m}$, então se pode dizer que as partículas da fração respirável contribuem com a maior parcela, tanto em massa como em área de superfície de contato de todas as partículas disponíveis no ar das marmorarias. Partículas maiores que $22 \mu\text{m}$ são mais pesadas e podem contribuir mais em massa, mas pouco em número. Apenas 8% das partículas maiores que $10 \mu\text{m}$ contribuem com 50% da área de superfície de contato, devido apenas ao seu tamanho.

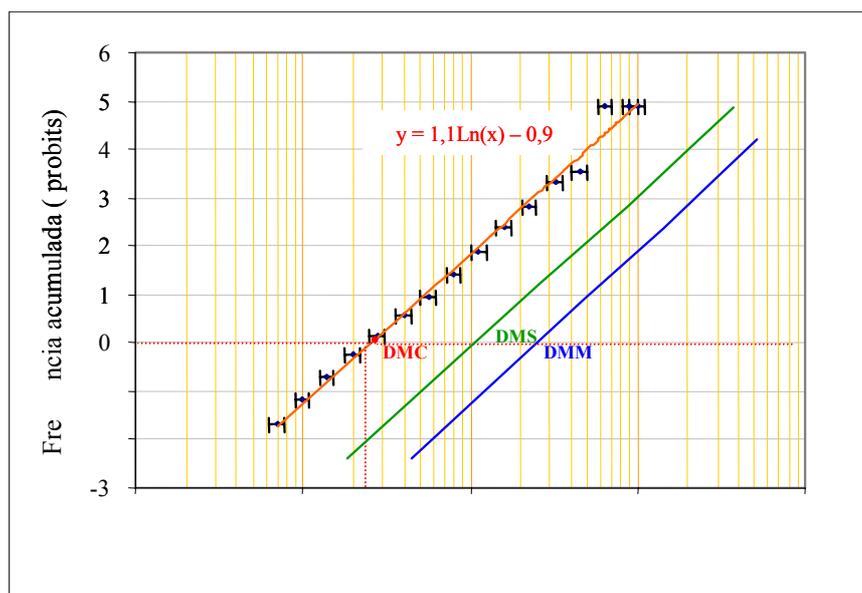


Figura 5.12: Probabilidades de frequência acumulada (em unidades de *probits*) para a distribuição global dos tamanhos das partículas geradas por atividades executadas em marmorarias. DMC representa o valor do diâmetro mediano em massa e DMS o diâmetro mediano em área de superfície, ambos obtidos pelas equações de conversão de Hatch-Choate

Conforme comentado no item 3.3.5, a máxima deposição alveolar ocorre para partículas de aproximadamente $2 \mu\text{m}$ de diâmetro aerodinâmico. Portanto, os trabalhadores de marmorarias estão expostos não só a elevadas concentrações de poeira altamente tóxica

(contendo altos teores de sílica livre cristalizada), mas também aos tamanhos de partícula mais nocivos à saúde. Esses trabalhadores estão sujeitos a todas as doenças descritas na Tabela III.4, mas principalmente à silicose e ao câncer de pulmão. Isso é agravado pelo fato de estarem inalando partículas recém-fraturadas que possuem maior reatividade com os tecidos pulmonares. Os resultados apresentados justificam a proporção de trabalhadores com alterações radiológicas, a partir de 6 anos de exposição em marmorarias, identificada pelo Projeto Marmoristas⁽³⁾. Esse tempo de exposição relativamente curto, juntamente com as condições de trabalho a altas concentrações de sílica e a faixa de tamanhos predominantes medidos são compatíveis com a descrição de silicose acelerada discutida em 3.5.1.b.

5.2.2 Influência da umidificação sobre as partículas suspensas no ar das marmorarias

Várias amostras para determinação da distribuição dos tamanhos das partículas foram coletadas junto a atividades executadas a úmido. Essas amostras estão indicadas nas Tabelas A.1, A.8, A.9, A.10 e A.11 encontradas no Apêndice. As Figuras 5.8 a 5.10 mostraram que, mesmo para essas atividades, cerca de 90% das partículas possuíam diâmetro inferior a 10 μm .

A principal diferença para as atividades executadas a úmido foi a quantidade de partículas disponíveis no ar dos ambientes de trabalho. Esse efeito foi identificado pelas concentrações mais baixas nos setores de corte de rochas das marmorarias e pela necessidade de se aumentar o tempo de coleta das amostras destinadas à medição de tamanhos por microscopia.

Para verificar o efeito da umidificação sobre o número de partículas suspensas no ar quando se adota um processo totalmente a úmido, as amostras coletadas foram separadas em dois grupos: amostras coletadas em marmorarias que operam com acabamento a seco e amostras coletadas na marmoraria modelo que opera com processo a úmido. As concentrações em número foram calculadas para as 61 amostras coletadas, conforme descrito no item 4.6.3, e estão apresentadas nas Tabelas V.16 e V.17.

Tabela V.16: Concentração em número das amostras coletadas para determinação dos tamanhos das partículas em marmorarias que operam com acabamento a seco. Classificação para construção da curva de frequência acumulada (em unidades de *probits*)

Ferramenta	Amostra	Tempo (min.)	Conc. (mppmc)*	Nº de Ordem	Pi (%)	Probit
Corte tradic.(úmido)	PC-111	21	2	1	2	-2,1
Corte tradic.(úmido)	PC-156	30	7	2	3	-1,8
Corte tradic.(úmido)	PC-152	10	10	3	5	-1,7
Dispersão (úmido)	PC-150	16	11	4	6	-1,5
Serra-mármore (água de garrafa)	PC-144	12	14	5	8	-1,4
Corte tradic.(úmido)	PC-160	26	16	6	10	-1,3
Serra-mármore (água de garrafa)	PC-151	7	17	7	11	-1,2
Dispersão	PC-141	12	27	8	13	-1,1
Serra-mármore (água de garrafa)	PC-157	2	34	9	14	-1,1
Lixa 36	EC-07	3	39	10	16	-1,0
Dispersão	PC-142	10	39	11	18	-0,9
Finas	PC-97	6	44	12	19	-0,9
Rebolo 120 (exaustão)	PC-105	3	47	13	21	-0,8
Lixa 36	PC-136	3	50	14	23	-0,7
Lixa 120	PC-119	4	63	15	24	-0,7
Lixa 120	PC-122	4	64	16	26	-0,6
Disco desbaste (exaustão)	PC-107	1	68	17	27	-0,6
Lixa 180 (exaustão)	PC-147	4	72	18	29	-0,5
Lixa 180	PC-126	4	86	19	31	-0,5
Lixa 120 (exaustão)	PC-154	1	94	20	32	-0,5
Disco desbaste (exaustão)	PC-153	1	95	21	34	-0,4
Lixa 60 (exaustão)	PC-115	2	97	22	36	-0,4
Serra-mármore	PC-134	1	102	23	37	-0,3
Rebolo 120	EC-05	3	106	24	39	-0,3
Lixa 120	EC-06	2	106	25	40	-0,2
Serra-mármore	PC-124	5	106	26	42	-0,2
Dispersão	PC-140	5	109	27	44	-0,2
Lixa 60 (exaustão)	PC-112	3	114	28	45	-0,1
Serra-mármore	PC-138	2	159	29	47	-0,1
Rebolo 120	EC-23	2	170	30	48	0,0
Lixa 120	PC-165	1	205	31	50	0,0
Lixa 180	EC-12	2	213	32	52	0,0
Lixa 180	PC-180	4	226	33	53	0,1
Finas	PC-179	2	256	34	55	0,1
Rebolo 120	PC-178	2	266	35	56	0,2
Lixa 180	PC-170	1	380	36	58	0,2
Rebolo 120	EC-10	2	412	37	60	0,2
Serra-mármore (exaustão)	PC-100	2	431	38	61	0,3
Disco desbaste	EC-16	2	433	39	63	0,3
Lixa 36	PC-131	2	462	40	64	0,4

continua ...

continuação da Tabela V.16 ...

Ferramenta	Amostra	Tempo (min.)	Conc. (mppmc)*	Nº de Ordem	Pi (%)	Probit
Lixa 36	EC-28	1	553	41	66	0,4
Lixa 60 (exaustão)	PC-148	1	653	42	68	0,5
Lixa 120 (exaustão)	PC-155	1	806	43	69	0,5
Lixa 120	PC-164	1	825	44	71	0,5
Lixa 36	PC-130	1	937	45	73	0,6
Lixa 180	EC-13	1	1050	46	74	0,6

*mppmc = milhões de partículas por metro cúbico de ar amostrado

O diagrama de frequência acumulada das concentrações em número, construído a partir dos dados da Tabela V.16, é apresentado na Figura 5.13. A leitura do valor correspondente ao *probit* = 0 indica que a concentração média em número de partículas para as marmorarias que operam com acabamento a seco é de 226 mppmc com desvio padrão de 7,8.

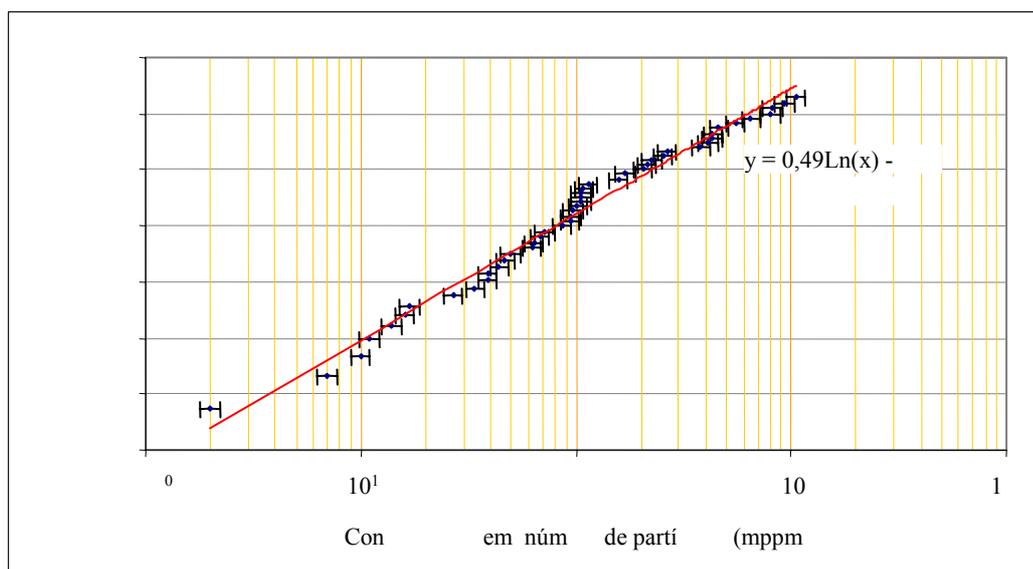


Figura 5.13: Frequência acumulada (em unidades de *probit*) para as concentrações em número de partículas suspensas no ar das amostras coletadas em marmorarias que operam com acabamento a seco

Da mesma maneira, o diagrama de frequência acumulada das concentrações em número, construído a partir dos dados da Tabela V.17, é apresentado na Figura 5.14. A

leitura do valor correspondente ao *probit* = 0 indica que a concentração média em número de partículas para a marmoraria que opera com processo a úmido é de 15 mppmc com desvio padrão de 6,1.

Tabela V.17: Concentração em número das amostras coletadas para determinação dos tamanhos das partículas na marmoraria modelo que opera com processo a úmido. Classificação para construção da curva de frequência acumulada (em unidades de *probits*)

Ferramenta	Amostra	Tempo (min.)	Conc. (mppmc)*	Nº de Ordem	Pi (%)	Probit
Dispersão	PC-93	43	1	1	4	-1,7
Pneumática	PC-80	17	2	2	9	-1,4
Dispersão	PC-82	26	2	3	13	-1,1
Dispersão	PC-84	35	2	4	17	-0,9
Dispersão	PC-90	34	4	5	22	-0,8
Pneumática	PC-79	19	5	6	26	-0,6
Dispersão	PC-85	20	5	7	30	-0,5
Pneumática	PC-94	22	8	8	35	-0,4
Pneumática	PC-87	19	9	9	39	-0,3
Corte tradic.	PC-89	24	10	10	44	-0,2
Disco desbaste	PC-86	6	13	11	48	-0,1
Rebolo 120	PC-95	18	14	12	52	0,1
Corte tradic.	PC-91	28	15	13	56	0,2
Disco desbaste	PC-92	11	20	14	61	0,3
Serra-mármore	PC-83	15	49	15	65	0,4

*mppmc = milhões de partículas por metro cúbico de ar

A comparação entre os dois tipos de processos mostra que houve uma redução de 93% na quantidade de partículas suspensas no ar, quando se adotou umidificação na fonte de geração da poeira.

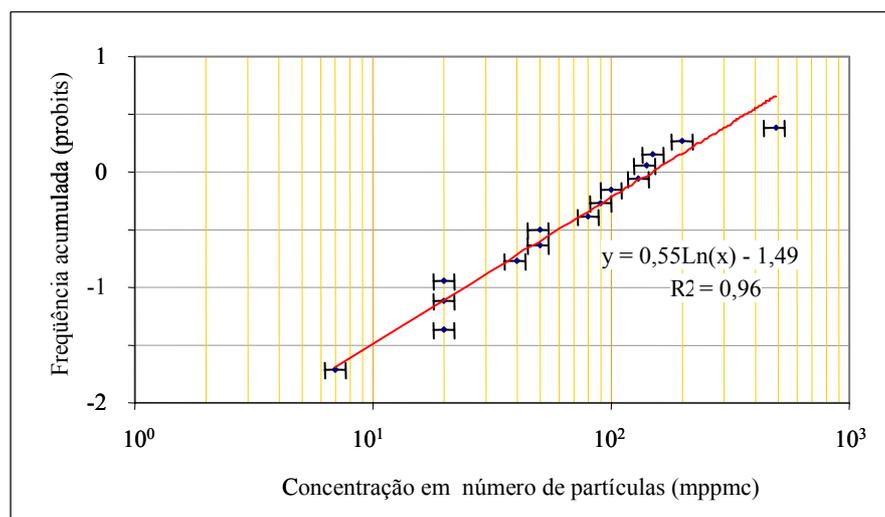


Figura 5.14: Frequência acumulada (em unidades de *probit*) para as concentrações em número de partículas suspensas no ar das amostras coletadas na marmoraria que opera com processo a úmido

Outras leituras feitas a partir da Tabela V.16 e da Figura 5.13 mostram que concentrações em número de partículas, de ordem semelhante às da marmoraria modelo, foram obtidas para as atividades executadas a úmido dentro das marmorarias que operam com acabamento a seco. Uma vez que esse tipo de amostragem foi realizada em pontos fixos do ambiente de trabalho, houve menos influência da contaminação provinda das lixadeiras do setor de acabamento a seco sobre as essas amostras.

5.2.3 Diâmetro aerodinâmico das partículas por instrumento automático

A Tabela V.15 mostrou que, para se chegar aos resultados apresentados no item 5.2.1, foram medidas 146.661 partículas em 61 amostras coletadas, 183 lâminas analisadas por microscopia e cerca de 550 imagens adquiridas em diferentes focos. Isso significou meses de trabalho só em análises.

O analisador de partículas Aerosizer® foi utilizado como uma alternativa mais rápida para a determinação da distribuição dos tamanhos das partículas suspensas no ar de ambientes de trabalho.

O equipamento foi testado em laboratório com dois padrões de distribuições de tamanhos de partícula conhecidas, apresentando resultados compatíveis com os da microscopia ótica. A incerteza estimada para as medições realizadas com o analisador de partículas foi de 5% em relação à média geométrica das distribuições obtidas por microscopia.

Os padrões de teste cobriam toda a faixa de interesse para medição:

- Respirable Alpha Quartz, Standard Reference Material SRM-1878, para verificação das medições de partículas mais finas ($< 10 \mu\text{m}$);
- Zirconia Thermal Spray Powder, Standard Reference Material SRM-1982, para verificação das medições de partículas mais grossas ($10 - 100 \mu\text{m}$).

Porém, para as amostras coletadas em marmorarias, os resultados de medição foram, em média, 3,5 vezes superiores aos obtidos por microscopia, como mostra a Tabela V.18. Essa diferença entre os resultados obtidos com o analisador de partículas e os resultados obtidos por microscopia pode ser atribuída a fatores relacionados com a amostragem e a preparação das amostras.

O porta-filtro padrão de face aberta, colocado sobre a bancada de trabalho, pode ter coletado tanto as partículas suspensas no ar como aquelas maiores projetadas sobre ele pela movimentação típica das lixadeiras. Outra possibilidade é o tipo de preparação de amostras adotado não ter recuperado uma parcela das partículas mais finas, deslocando o valor da média geométrica para a faixa de valores maiores.

Portanto, ajustes nos procedimentos de coleta e preparação de amostras devem ser feitos para que a comparação entre os resultados obtidos por microscopia e aqueles obtidos com o analisador de partículas sejam conclusivos.

Tabela V.18: Distribuição dos diâmetros aerodinâmicos das partículas coletadas com cassete de face aberta. Valores obtidos com o analisador de partículas Aerosizer®

Freq.No.Acum. Abaixo (%)	Distribuição dos diâmetros aerodinâmicos das amostras									
	Amostra 02	Amostra 06	Amostra 07	Amostra 08	Amostra 09	Amostra 12	Amostra 13	Amostra 14	Amostra 17	Amostra 18
5,00	4,86	4,13	4,25	3,80	3,78	4,24	5,61	4,05	4,06	4,48
10,00	5,70	4,65	4,88	4,47	4,41	5,02	6,35	4,53	4,79	5,29
15,00	6,47	5,12	5,36	5,00	4,85	5,71	7,10	4,90	5,40	5,97
20,00	7,19	5,56	5,80	5,51	5,23	6,18	7,84	5,21	5,98	6,61
25,00	7,92	6,03	6,26	6,01	5,58	6,63	8,64	5,50	6,56	7,25
30,00	8,62	6,58	6,70	6,53	5,92	7,07	9,47	5,80	7,17	7,92
35,00	9,31	7,06	7,16	7,11	6,28	7,54	10,31	6,11	7,85	8,66
40,00	10,05	7,52	7,68	7,72	6,66	7,99	11,23	6,44	8,62	9,48
45,00	10,86	7,98	8,27	8,48	7,06	8,46	12,11	6,79	9,49	10,37
50,00	11,74	8,43	8,97	9,43	7,54	9,02	12,96	7,16	10,53	11,35
55,00	12,78	8,86	9,77	10,57	8,12	9,63	13,96	7,57	11,77	12,46
60,00	13,88	9,32	10,67	11,90	8,81	10,28	15,32	8,01	13,31	13,79
65,00	15,03	9,86	11,76	13,50	9,57	11,16	16,60	8,51	15,21	15,30
70,00	16,33	10,52	13,36	15,46	10,53	12,21	17,93	9,08	17,61	17,04
75,00	17,91	11,33	15,49	18,21	11,95	13,32	19,60	9,81	20,53	19,05
80,00	19,88	12,27	18,46	21,93	14,19	14,77	21,46	10,86	23,81	21,46
85,00	22,33	13,18	23,01	27,01	17,22	16,86	23,13	12,37	28,12	24,64
90,00	25,65	14,18	28,67	33,18	22,15	19,72	25,12	14,48	34,29	29,21
95,00	31,47	15,34	34,92	45,82	32,51	24,19	27,73	18,63	45,13	37,03
Média Geom.	11,99	7,92	10,11	10,70	8,52	9,32	12,58	7,62	11,97	11,91
Desv.Pad.Geom.	1,788	1,726	1,964	2,257	2,014	1,728	1,749	1,585	2,174	1,909

Freq.No.Acum. Abaixo (%)	Distribuição dos diâmetros aerodinâmicos das amostras									
	Amostra 21	Amostra 22	Amostra 23	Amostra 28	Amostra 29	Amostra 30	Amostra 31	Amostra 32	Amostra 34	Amostra 35
5,00	5,20	4,30	5,02	4,39	5,86	4,50	4,83	3,63	4,03	4,96
10,00	6,11	5,10	5,93	5,00	6,81	5,21	5,81	4,15	4,80	5,70
15,00	7,01	5,73	6,67	5,46	7,58	5,79	6,48	4,57	5,43	6,33
20,00	7,90	6,31	7,33	5,86	8,29	6,34	7,05	4,94	5,98	6,93
25,00	8,73	6,89	7,96	6,24	8,98	6,89	7,57	5,28	6,50	7,53
30,00	9,57	7,48	8,60	6,61	9,63	7,48	8,07	5,60	7,02	8,13
35,00	10,42	8,10	9,28	6,98	10,30	8,10	8,60	5,93	7,55	8,75
40,00	11,30	8,74	10,00	7,36	11,00	8,78	9,15	6,27	8,10	9,44
45,00	12,25	9,42	10,79	7,78	11,77	9,57	9,74	6,63	8,66	10,18
50,00	13,29	10,18	11,69	8,23	12,59	10,45	10,37	7,02	9,25	10,92
55,00	14,43	11,02	12,85	8,73	13,47	11,39	11,06	7,46	9,87	11,65
60,00	15,71	11,99	14,31	9,30	14,41	12,44	11,83	7,97	10,53	12,45
65,00	17,12	13,16	16,22	9,98	15,46	13,65	12,76	8,52	11,24	13,37
70,00	18,72	14,62	18,55	10,82	16,68	15,17	13,93	9,16	11,99	14,44
75,00	20,60	16,59	21,50	11,90	18,07	17,06	15,51	9,93	12,85	15,69
80,00	22,62	19,24	25,46	13,36	19,73	19,65	17,79	10,87	13,88	17,06
85,00	25,09	22,63	30,80	15,47	21,97	23,52	21,57	12,15	15,19	18,61
90,00	28,45	28,57	37,66	18,89	25,27	29,32	28,64	14,04	17,04	20,53
95,00	33,54	40,66	47,78	25,59	31,33	38,60	44,96	17,85	20,27	23,91
Média Geom.	13,30	11,04	13,28	8,97	12,89	11,30	11,41	7,39	9,05	10,77
Desv.Pad.Geom.	1,775	2,008	2,016	1,683	1,667	1,915	1,981	1,617	1,694	1,688

6. CONCLUSÕES

Para estudar as características da exposição ocupacional a poeiras no beneficiamento de rochas ornamentais em marmorarias, foram determinadas as concentrações de poeira nas frações relacionadas com efeitos à saúde e a distribuição dos tamanhos das partículas geradas durante as atividades desenvolvidas nos ambientes de trabalho dos marmoristas.

Os resultados obtidos, a partir deste estudo, demonstraram que os trabalhadores de marmorarias estão caracteristicamente expostos a altas concentrações de poeira extremamente fina. Essa poeira é gerada principalmente pelas ferramentas utilizadas para as atividades de acabamento a seco das rochas ornamentais. Os trabalhadores do setor de corte a úmido também estão expostos a essa poeira, em consequência das práticas de trabalho adotadas.

Entre as marmorarias avaliadas, as concentrações médias para o setor de acabamento a seco foram de 18 mg/m^3 na fração inalável, $8,0 \text{ mg/m}^3$ na fração torácica e $2,7 \text{ mg/m}^3$ na fração respirável. Os trabalhadores desse setor estavam expostos à sílica respirável com concentração média de $0,2 \text{ mg/m}^3$.

As concentrações nos ambientes de trabalho das marmorarias variavam dentro de uma ampla faixa de valores, seguindo uma distribuição lognormal. Entre todas as amostras analisadas foram encontrados valores superiores em até 24 vezes o valor de referência genérico de 10 mg/m^3 para a fração inalável e em até 10 vezes o valor de referência genérico de 3 mg/m^3 para a fração respirável.

Entre as determinações realizadas, os resultados mais alarmantes foram os das concentrações de sílica livre cristalizada. Foram encontrados valores superiores em até 24 vezes o limite de exposição ocupacional de $0,05 \text{ mg/m}^3$ para sílica, recomendado pela ACGIH em 2004. Devido às diferenças nas composições das rochas trabalhadas em marmorarias, os valores médios das concentrações variaram em até $1,2 \text{ mg/m}^3$, tanto no

setor de acabamento a seco como no setor de corte a úmido das marmorarias convencionais.

A probabilidade do LEO para sílica ser ultrapassado, nas condições encontradas nas marmorarias avaliadas, foi de 60 a 84%. Esse quadro mostrou que as medidas de controle adotadas por essas marmorarias foram insuficientes e ineficientes para a contenção da poeira e a eliminação da exposição ocupacional.

Os resultados de medição dos tamanhos das partículas indicaram que a poeira suspensa no ar das marmorarias era composta predominantemente por partículas de diâmetro aerodinâmico entre 2,2 e 3,9 μm . Essa faixa de tamanhos é a de maior deposição alveolar e, portanto, de maior risco de se adquirir silicose e câncer de pulmão. Além disso, 92% das partículas medidas possuíam diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm , mostrando a predominância absoluta da poeira na fração respirável. Esse panorama mostrou-se idêntico para todos os tipos de trabalhos executados com rochas em marmorarias, tanto a úmido como a seco, caracterizando essa faixa de tamanhos como inerente ao processo produtivo.

Assim, os trabalhadores das marmorarias convencionais que operam com acabamento a seco estão expostos a altas concentrações de poeira recém-fraturada contendo sílica e aos tamanhos de partícula mais nocivos à saúde.

Considerando que a maioria das marmorarias brasileiras não adota nenhum tipo de medida de controle de caráter coletivo, pode-se inferir que a situação da exposição a poeiras no Brasil e, principalmente, à sílica deva ser ainda mais preocupante do que a que foi identificada por este estudo.

Dados de avaliação médica já haviam constatado o problema: um elevado número de trabalhadores doentes em curto período de exposição. Porém, a silicose é uma doença progressiva e incurável e a única maneira de reduzir o seu avanço é impedir que os trabalhadores inalem a poeira.

A quantificação da real situação de exposição dos trabalhadores a poeiras em marmorarias, realizada por este estudo, permitirá o aprofundamento e o fortalecimento dos subsídios existentes para a recomendação de procedimentos e medidas de controle mais adequados às condições encontradas nesses ambientes.

As medições realizadas dão, não somente uma idéia aproximada do panorama das marmorarias da Cidade de São Paulo, mas podem ser um indicativo da provável situação de outras marmorarias do Brasil. A divulgação dessas informações serve como um alerta, pois se baseiam em dados concretos que podem ser utilizados como ponto de partida para a resolução do problema.

Uma alternativa para a minimização da exposição à poeiras foi testada com bons resultados. A adoção do processo de acabamento a úmido com lixadeiras pneumáticas reduziu para 0,1% a probabilidade das concentrações ambientais ultrapassarem os valores de referência para as frações inalável e respirável. A probabilidade para as concentrações de sílica não pode ser testada, pois a marmoraria avaliada trabalhava predominantemente com mármore. Da mesma maneira, a umidificação na fonte de geração da poeira mostrou redução de 93% na quantidade de partículas suspensas no ar em comparação com as marmorarias que operam com acabamento a seco.

7. RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS

Um dos principais riscos encontrados nos ambientes de trabalho dos marmoristas é a exposição ocupacional a poeiras, em especial a poeiras contendo sílica livre cristalizada. Devido à importância, à gravidade e ao número elevado de trabalhadores expostos a poeiras em marmorarias, esse foi um dos ramos de atividade considerados prioritários pelo Programa Nacional de Eliminação da Silicose.

A escassez de dados quantitativos consistentes e coordenados sobre as condições dos ambientes de trabalho e os níveis de exposição dos trabalhadores a poeiras deu origem à necessidade de um estudo mais aprofundado sobre o tema. Esse entendimento é de fundamental importância para a recomendação das medidas de controle adequadas para a redução da poeira suspensa no ar e a eliminação da silicose nesse ramo de atividade.

É urgente a necessidade de modernização das marmorarias para atender a crescente demanda dos mercados interno e externo de rochas ornamentais. Porém, essa modernização deve vir acompanhada da capacitação dos trabalhadores para a execução de suas tarefas, além da qualificação de insumos e ferramentas que visem a redução da geração de poeira. A preocupação com a saúde e segurança no trabalho não pode ser apenas uma exigência legal e os donos de marmorarias devem compreender que, mesmo sendo microempresários, podem fazer muito para melhorar as condições de trabalho dentro de suas empresas.

As informações obtidas por este estudo já estão servindo de subsídios para recomendações de modificações em ambientes de trabalho de marmorarias a serem elaboradas por grupos de trabalho ligados ao Programa Nacional de Eliminação da Silicose, nos quais estão envolvidos representantes de trabalhadores e empregadores, e para discussão em projetos de pesquisa desenvolvidos por Unidades Descentralizadas da FUNDACENTRO sediadas em Estados onde a presença de marmorarias é marcante.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As situações encontradas nos ambientes de trabalho das marmorarias são, muitas vezes, fruto da falta de informação direcionada especialmente aos trabalhadores e empregadores. Por isso, projetos educativos devem ser criados para preparar as pessoas atuantes nesse ramo de atividade para as mudanças a serem propostas, visando a melhoria das condições de trabalho. Trabalhadores, empregadores e fornecedores de insumos para marmorarias devem ser envolvidos na criação de novas propostas de trabalho.

Cursos, palestras e cartilhas com orientações específicas para profissionais de marmorarias precisam ser desenvolvidos, com a finalidade de esclarecer sobre os riscos da exposição a poeiras, maneiras de prevenção e cuidados necessários para que as medidas de controle adotadas cumpram o seu papel.

É necessário também um aprofundamento na pesquisa sobre a possível adoção de processos a úmido para o acabamento das rochas ornamentais. Este estudo não conseguiu verificar a eficiência dessa medida de controle sobre as concentrações de sílica livre cristalizada em marmorarias que trabalham com granitos e ardósias. Por isso, avaliações ambientais desses locais de trabalho podem complementar os dados desta tese, sendo que, os efeitos do excesso de umidade sobre a saúde dos trabalhadores, os procedimentos para tratamentos da lama e a possível contaminação das águas por agentes biológicos ainda devam ser investigados.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHIODI FILHO, C. **Quadro Setorial Brasileiro das Rochas Ornamentais e de Revestimento**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, ed.147, p.86-104, 1999.
2. MELLO, I.S.C. **Panorama Setorial das Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, ed.154, p.140-153, 2000.
3. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Setor de Meio Ambiente e Prevenção de Acidentes. Promotoria de Justiça de Acidentes de Trabalho. **Projeto Marmoristas: Relatório Preliminar sobre o Cadastro de Trabalhadores**. In: OFICINA DE TRABALHO SOBRE O PROGRAMA NACIONAL DE ELIMINAÇÃO DA SILICOSE, Brasília, 2001.
4. FUNDACENTRO. **Programa Nacional de Eliminação da Silicose**. Disponível em <http://www.fundacentro.gov.br/silicaesilicose>. Acesso em: 12 junho 2002.
5. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Particle Size-Selective Sampling for Health-Related Aerosols**. Cincinnati, OH, USA: ACGIH, Air Sampling Committee, 1993-94. ISBN 1-1882417-30-5.
6. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **Air Quality: Particle Size Fraction Definitions for Health-related Sampling**. Technical Report ISO/CD 7708. Genebra, 1992.
7. COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **Workplace Atmospheres: Size Fraction Definitions for Measurements of Airborne Particles in the Workplace**. CEN Standard EN-481. Brussels, Belgium, 1992.
8. LANGER, A.M. **Mineralogy**. In: NIOSH. Occupational Respiratory Diseases. Washington: U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Centers for Disease Control, 1986. NIOSH Publication N° 86-102, p.3-40.
9. GANBLE, J.F. **Silicate Pneumoconiosis**. In: NIOSH. Occupational Respiratory Diseases. Washington: U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Centers for Disease Control, 1986. NIOSH Publication N° 86-102, p.243-285.
10. LEINZ, V., AMARAL, S.E. **Geologia Geral**. 8a. ed. São Paulo: Editora Nacional, 1980. p.33-51.
11. DOMINGOS, L. **Terra Planeta Vivo: Rochas**. Disponível em: http://domingos.home.sapo.pt/rochas_1.html. Acesso em: 20 fevereiro 2002.
12. FONTES, M.P.F. **Introdução ao Estudo de Minerais e Rochas**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1984.

-
13. DANA, J.D. **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S/A, 1969. 64p.
 14. DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J. **Minerais Constituintes das Rochas: Uma Introdução**. Tradução de Conde, L.E.N. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1981.
 15. FARIAS, C.E.G. **Mercado Nacional**. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1995. (Série Estudos Econômicos sobre Rochas Ornamentais, V.2. Federação das Indústrias do Estado do Ceará).
 16. ROCHAS ON LINE. **Guia de Rochas e Equipamentos: Conceitos e Tipos**. Disponível em <http://www.rochasonline.com.br>. Acesso em: 29 março 2002.
 17. SINDIROCHAS. **Mármore e Granitos: Orientações Gerais sobre sua Utilização**. Disponível em <http://www.sindirochas.com.br/informativo.htm>. Acesso em: 29 março 2002.
 18. WINGE, M., ALVARENGA, C.J.S. **Glossário Geológico**. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/glossario>. Acesso em: 22 fevereiro 2002.
 19. ERNST, W.G. **Minerais e Rochas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. p.46-155.
 20. MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. Secretaria de Estado da Indústria, do Comércio e do Turismo – SEIT. **Rochas Ornamentais**. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/mineropar>. Acesso em: 08 fevereiro 2002.
 21. CHIODI FILHO, C. **Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais**. Rio de Janeiro: MCT/CNPq/CETEM, 1995. (Série Estudos e Documentos, N° 28).
 22. ROCHAS ON LINE. **Máquinas: é Tempo de Modernizar**. Disponível em <http://www.rochasonline.com.br/dicas/maquinas.asp>. Acesso em: 06 Julho 2002.
 23. HESTON, F.M. **Equipando uma Pequena Marmoraria: O Básico**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, ed.155, p.154-161, 2000.
 24. TANEJA, A., CASTRO, E.C. **Retrospectiva do Setor: Países Produtores e Consumidores de Rochas Ornamentais**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, ed.158, p.129-177, 2001.
 25. CHIODI FILHO, C. **Situação Brasileira do Setor de Rochas Ornamentais**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, Ed.158, p.87-106, 2001.

-
26. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2001**. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/sm2001.html>. Acesso em: 03 Julho 2002.
 27. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro 2001**. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/amb2001.html>. Acesso em: 03 Julho 2002.
 28. SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Panorama Setorial: Rochas Ornamentais**. Informativo SECEX, Secretaria de Comércio Exterior – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, DECEX/GECOM/SEADE, Ano IV, Nº27, 2001.
 29. FRASCÁ, M.H.B.O., QUITETE, E.B. **Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo: Características Tecnológicas**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, ed.154, p.154-171, 2000.
 30. BRASIL. Lei Nº. 9841, de 05 de outubro de 1999. **Estatuto da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte**. Diário Oficial da União, Brasília, 06 out 1999, regulamentada pelo Decreto Nº. 3474 de 19/05/2000, Diário Oficial da União, Brasília, 22 mai 2000.
 31. PATRONE, A. **Metodología de formación flexible para pequeños empresarios latinoamericanos**. Montevideo: Cinterfor, 1997. 54p. Disponível em <http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor>. Acesso em: 03 julho 2002.
 32. BRASIL. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança do Trabalho. Portaria Nº. 25 de 29/12/1994. **Norma Regulamentadora Nº. 9: Programas de Prevenção de Riscos Ambientais**. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez 1994, republicada em 15 fev 1995.
 33. BRASIL. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança do Trabalho. Portaria Nº. 12 de 06/06/1983. **Norma Regulamentadora Nº. 7: Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional**. Diário Oficial da União, Brasília, 14 jun 1983.
 34. JOHNSON, D., SWIFT, D.: **Sampling and Sizing Particles**. In: American Industrial Hygiene Association. The Occupational Environment: Its Evaluation and Control. Virginia, USA: American Industrial Hygiene Association Press, 1998. p.243-261.
 35. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust**. Prevention and Control Exchange (PACE). Geneva: WHO, Department of Protection of the Human Environment, Occupational Environmental Health, WHO/SDE/OEH/99.14, 1999. Disponível em http://www.who.int/peh/Occupational_health/Dust/dusttoc.htm. Acesso em: 02 setembro 2001.

-
36. HEARL, F.J. **Identification, Monitoring and Control of Dust Exposures.** In: BANKIS, D.E., PARKER, J.E. Occupational Lung Disease: An International Perspective. London: Chapman & Hall Medical, 1998. p.35-52.
 37. VINCENT, J.H. **Aerosol Science for Industrial Hygienists.** 5 ed., U.K.: Elsevier Science Ltd, 1995. 411p.
 38. PLINKE, M.A.E. et al. **Experimental Examination of Factors that Affect Dust Generation.** Am. Ind. Hyg. Assoc. J., v.52, n°12, 1991.
 39. BRITISH OCCUPATIONAL HYGIENE SOCIETY. **Progress in Dustiness Estimation.** Ann. Occup. Hyg., v.32, n° 4, p.535-544, 1998.
 40. HINDS, W.C. **Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles.** USA: John Wiley & Sons, 1982. 425p.
 41. WILLEKE, K., BARON, P. A. **Aerosol Measurement: Principles, Techniques and Applications.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. 876 p.
 42. LIPPMANN, M. **Respiratory Tract deposition and Clearance of Aerosols.** In: LEE, S.D. et al. Aerosols: Research, Risk Assessment and Control Strategies. USA: Lewis Publishers, 1986. p.43-57.
 43. STAHLFEN, W. **Regional Deposition of Inhalable Particles in Humans.** In: LEE, S.D. et al. Aerosols: Research, Risk Assessment and Control Strategies. USA: Lewis Publishers, 1986. p.521-539.
 44. SWIFT, D.L. **Effects of Inhalation Mode on Particle Deposition in the Respiratory Tract.** In: LEE, S.D. et al. Aerosols: Research, Risk assessment and Control Strategies. USA: Lewis Publishers, 1986. p.541-546.
 45. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **The Pulmonary Effects of Inhaled Inorganic Dust.** Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vol.1, Cap.7, 1978.
 46. MORROW, P.E. **Dust Overloading of the Lungs: Update and Appraisal.** Toxicol. Appl. Pharm., n°113, p.1-12, 1992.
 47. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **1993-1994 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices.** Cincinnati, OH: ACGIH, 1994. p.42-45.
 48. VINCENT, J.H. **Methodology for Determining Aerodispersóides Exposure in Work Places.** In: LEE, S.D. et al. Aerosols: Research, Risk Assessment and Control Strategies. USA: Lewis Publishers, 1986. p.185-202.

-
49. HSU, D.J.; SWIFT, D.L.: **The Measurements of Human Inhalability of Ultralarge Aerosols in Calm Air Using Mannikins**. Oxford: Elsevier Scienc Inc., J. Aerosol Sci., v.30, n°10, p.1331-1343, 1999.
 50. HEYDER, J. et al. **Deposition of Particles in the Human Respiratory Tract in the Size Range 0,005-15µm**. Oxford: Elsevier Scienc Inc., J. Aerosol Sci., v.17, n°5, p.811-825, 1986.
 51. SODERHOLM, S. C. **Proposed International Conventions for Particle Size-selective Sampling**. Ann. Occup.Hyg., V.33, n° 3, p.301-320, 1989.
 52. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **2002 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Esposure Indices**. Cincinnati, OH: ACGIH, 2002.
 53. OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Silicosis in Construction**. New York, USA. Disponível em <http://www.osha-slc.gov/SLTC/silicacrystallinenineoja/demolition.html>. Acesso em: 11 Junho 2001.
 54. GUTHRIE JR, G.D. **Mineralogical Factors Affect the Biological Activity of Crystalline Sílica**. Appl. Occup. Environ. Hyg., v.10, n°12, p.1126-1131, 1995.
 55. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Crystalline Sílica**. USA: NIOSH U.S. Department of Health, Education and Welfare. Public Health Service. Center for Disease Control, 1974. NIOSH Publication No.75-120.
 56. LIPPMANN, M. **Exposure Assessment Strategies for Crystalline Sílica Health Effects**. Appl. Occup. Environ. Hyg., v.10, n°12, p.981-990, 1995.
 57. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Sílica**. USA: NIOSH Department of Health and Human Services. Center for Disease Control and Prevention, 2002. DHHS (NIOSH) Publication No. 2002-129.
 58. KITAMURA, S., BAGATIN, E., CAPITANI, E.M. **Toxicologia da Sílica**. Brasília: Soc. Bras. Pneumologia e Tisiologia, Jornal de Pneumologia, v.22, n° 4, p.185-194, 1996.
 59. GRAHAN, W.G.B. **Quartz and Silicosis**. In: BANKS, D.E., PARKER, J.E. Occupational Lung Disease: An International Perspective. London: Chapman & Hall Medical, 1998. p.191-212.

-
60. INTERNATIONAL LABOUR OFFICE. **The definition of pneumoconiosis.** In: Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Vol. II, Appendix VII, New York: McGraw Hill Book Co., 1972. p.1558.
61. DONALDSON, K. **Mechanisms of pneumoconiosis.** In: BANKS, D.E., PARKER, J.E. Occupational Lung Disease: An International Perspective. London: Chapman & Hall Medical, 1998. p.139-160.
62. PETERS, J.M. **Silicosis.** In: NIOSH. Occupational Respiratory Diseases. Washington: U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Centers for Disease Control, 1986. p.219-241. NIOSH Publication N° 86-102.
63. MORGAN, W.K.C; LAPP, N.L.: **Diseases of the Airways and Lungs.** In: Occupational Diseases: A Guide to Their Recognition. Washington: U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Centers for Disease Control, 1977. p.103-128. DHHS (NIOSH) Publication No. 77-181.
64. INTERNATIONAL LABOUR OFFICE. **Guidelines for the Use of ILO International Classification of Radiographs of pneumoconiosis.** Geneva: ILO, 1980.
65. MCDONALD, C. **Silica, Silicosis, and Lung Cancer: An Epidemiological Update.** Appl. Occup. Environ. Hyg., v.10, n.12, p.1056-1063, 1995.
66. WEILL, H.: **Risk Analysis and Public Policy in Relation to Silica Exposure.** Appl. Occup. Environ. Hyg., v. 10, n.12, p.1154-1156, 1995.
67. GUIDOTTI, T.L. **Silica Exposure and Risk of Lung Cancer: Pathophysiological Hypotheses in research Amenable to Testing by Epidemiological Methods.** Appl. Occup. Environ. Hyg., v.10, n.12, p.1075-1080, 1995.
68. HEPPELSTON, A.G. **Silica, Pneumoconiosis, and Carcinoma of the Lung.** Am. Rev. Ind. Med., n°7, p.285-294, 1985.
69. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Silica and Some Silicates, Coal Dust and Para-aramid Fibrils.** Lyon, France: IARC, 1997. V.48, 506 p. (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, International Agency for Research on Cancer).
70. INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. **Crystalline Silica, Quartz.** Disponível em <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad24.htm>. Acesso em: 23 novembro 2004.

-
71. ALGRANTI, E. **Occupational Lung Diseases in Brazil**. In: Banks, D.E., Parker, J.E., editors. *Occupational Lung Diseases: an international perspective*. 1st.ed. London: Chapman and Hall Medical, 1998; 105-15.
72. CARNEIRO, A.P.S. e col.. **Câncer de Pulmão em Trabalhadores Expostos à Sílica**. J. Pneumol., n.28 (4), p.233-236, 2002.
73. GOLDSMITH, D.F., BEAUMONT, J.J., MORRIN, L.A., SCHENKER, M.B. **Respiratory Cancer and Other Chronic Disease Mortality Among Silicotics in California**. Am. J. Ind. Med., n.28, p.459-67, 1995.
74. RUSSELL, A.K. et al. **The Health of Workers in Dusty Trades-II: Exposure to Siliceous Dust (Granite Industry)**. USA: Treasury Dept., Public Health Service, 1929. Public Health Bulletin n°187.
75. RUSSELL, A.K. **The Health of Workers in Dusty Trades-VII: Restudy of a Group of Granite Workers**. USA: Federal Security Agency, US Public Health Service, 1941. Public Health Bulletin n° 269.
76. THERIAUT, G.P., PETERS, J.M., FINE, L.J. **Pulmonary Function in Granite Shield Workers of Vermont**. Arch. Env. Health, n.28, p.18-22, 1974.
77. THERIAUT, G.P., PETERS, J.M., JOHNSON, W.M. **Pulmonary Function and Roentgenographic Changes in Granite Dust Exposure**. Arch. Env. Health, n.28, p.23-27, 1974.
78. KOSKELA, R.S., KLOCKARS, M., JARVINEN, E., KOLARI, P.J., ROSSI, A.: **Câncer mortality of Granite Workers**. Scand. J. Work. Environ. Health, v.13, p.26-31, 1987.
79. KOSKELA, R.S., KLOCKARS, M., JARVINEN, E., KOLARI, P.J., ROSSI, A.: **Mortality and Disability among Granite Workers**. Scand. J. Work. Environ. Health, v.13, p.18-25, 1987.
80. KOSKELA, R.S., KLOCKARS, M., LAURENT, H., HOLOPAINEN, M.: **Silica Dust Exposure and Lung Cancer**. Scand. J. Work. Environ. Health, v.20, p.407-416, 1994.
81. ALGRANTI, E.: **Slateworkers' Pneumoconiosis: A Study of the Relationship Between Dust Exposure, Pathology, Radiology, Mortality and Tuberculosis in Subjects with Severe Disease**. 1981. 213p. Magister in Scientia - The Welsh National School of Medicine. University of Wales, Wales.
82. ALGRANTI, E. **Occupational Lung Diseases in Brazil**. In: BANKS, D.E., PARKER, J.E. *Occupational Lung Disease: An International Perspective*. London: Chapman & Hall Medical, 1998. p.105-115.

-
83. MENDES, R. **Pneumoconioses**: Bibliografia Brasileira Comentada. 1886-1976. Rev. Assoc.Med. Bras., v.25, n.11, p.406-410, 1979.
84. TEIXEIRA, C.M. et al: **Higiene das Minas de Ouro**: Silicose – Morro Velho – MG. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Divisão de Fomento da Produção Mineral, Boletim 44, 1940. 149p.
85. TEIXEIRA, C.M. et al: **Higiene das Minas de Ouro**: Silicose e Outras Doenças dos Mineiros da Passagem – MG. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Divisão de Fomento da Produção Mineral, Boletim 53, 1942.113p.
86. TEIXEIRA, C.M., MOREIRA, M.: **Silicose e Silico-tuberculose**. Clínica Tisiológica, v.7, n. 28, p.507-528, 1952.
87. MENDES, R.: **Epidemiologia da Silicose na Região Sudeste do Brasil**: Contribuição para seu Estudo, através de Inquérito em Pacientes Internados em Hospitais de Tisiologia. 1978. 105p. Doutorado - Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo.
88. FRANCO, A.R. **Silicose Pulmonar nos Trabalhadores em Pedreiras**. São Paulo: Fundacentro, Rev. Bras. Saúde Ocup., v.6, nº23, p.21-26, 1978.
89. MORRONE, L.C.: **Epidemiologia da Silicose no Estado de São Paulo**. São Paulo: Fundacentro, Rev. Bras. Saúde Ocup., v.8, nº31, p.6-25 e v.8, nº32, p.28-30, 1980.
90. SOTO, J.M.O.G. et al.: **Relatórios das Condições de Higiene nas Indústrias de Cerâmica da Cidade de Pedreira-SP**. São Paulo: Fundacentro, 1980. 13 relatórios.
91. FUNDACENTRO. **Pedreira, Uma Cidade Afetada por Problemas de Silicose, mas com Perspectivas de Solução**. São Paulo: Fundacentro, Boletim Atualidades em Prevenção de Acidentes, v.11, nº132, p.6-8, 1980.
92. FUNDACENTRO. **Pedreira Lança Programa de Saúde do Trabalhador Ceramista**. São Paulo: Fundacentro, Boletim Atualidades em Prevenção de Acidentes, v.16, nº192, p.11, 1985.
93. FUNDACENTRO. **Ação Interinstitucional no Controle da Silicose em Pedreira**. São Paulo: Fundacentro, Boletim Atualidades em Prevenção de Acidentes, v.17, nº196, p.3, 1986.
94. FUNDACENTRO. **Instalação de Novas Indústrias Cerâmicas em Pedreira só Depois de Atendidas Exigências de Segurança no Trabalho**. São Paulo: Fundacentro, Boletim Atualidades em Prevenção de Acidentes, v.18, nº211, p.9-16, 1987.

-
95. HATEM, E.J.B., CAVALCANTI, F.M.T.B.: **Silicose em Cavadores de Poços da Serra da Ibiapaba-CE**. São Paulo: Fundacentro, Rev. Bras. Saúde Ocup., v.16, n°61, p.13-24, 1988.
96. HOLANDA, M.A. et al. **Silicose em Cavadores de Poços da Região de Ibiapaba (CE): da Descoberta ao Controle**. Brasília: Soc.Bras.Pneumologia e Tisiologia, Jornal de Pneumologia, v.25, n°1, p.1-11, 1999.
97. FUNDACENTRO. **Medicina, Segurança e Higiene do Trabalho na Identificação e Tratamento de Riscos em Minerações**. São Paulo: Fundacentro, Boletim Atualidades em Prevenção de Acidentes, v.16, n°181, p.2-3, 1985.
98. ALGRANTI, E. et al. **Pneumoconiose de Mineiros de Carvão: Dados Epidemiológicos de Minas da Bacia Carbonífera Brasileira**. Brasília: Soc.Bras.Pneumologia e Tisiologia, Jornal de Pneumologia, v.21, n°1, p.9-12, 1995.
99. PORTO, M.S.P.L. **Riscos Humanos no Emprego do Jato de Areia**. São Paulo: Ministério da Marinha, 1972, 18p.
100. COMISSÃO TÉCNICA ESTADUAL DE PNEUMATIAS OCUPACIONAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **A Silicose na Indústria Naval do Estado do Rio de Janeiro: Análise Parcial**. Brasília: Soc.Bras.Pneumologia e Tisiologia, Jornal de Pneumologia, v.21, n°1, p.13-16, 1995.
101. MENDONÇA, E.M.C. et al. **Estudo Clínico, Radiológico e Funcional Pulmonar de trabalhadores em Fundições de Ferro da Região de Osasco**. In: Anais da IV Semana da Pesquisa da Fundacentro: Novos Desafios e Avanços para a Saúde do Trabalhador e Meio Ambiente. São Paulo: Fundacentro, 2000. p.81-85.
102. POLITY, M.P. **Programa de Proteção Respiratória em Fundições**. Brasília: Soc. Bras.Pneumologia e Tisiologia, Jornal de Pneumologia, v.21, n°1, p.43-47, 1995.
103. PIVETTA, A.B.D.A., BETELHO, C. **Prevalência de Sintomas Respiratórios e Avaliação Espirométrica em Trabalhadores de Marmorarias**. Brasília: Soc. Bras. Pneumologia e Tisiologia, Jornal de Pneumologia, v.23, n°4, p.179-188, 1997.
104. COORDENAÇÃO DE SAÚDE DO TRABALHADOR. Secretaria de Saúde de Belo Horizonte. **Artigo Marmorarias: Educando para a Mudança**. Revista Proteção. Nov. 2004, p.48-55.
105. BRASIL. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança e Medicina do Trabalho. Portaria n°. 3214, de 08 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora N°15: Atividades e Operações Insalubres**. In: Manuais de Legislação Atlas – Segurança e Medicina do Trabalho. 31ª ed. São Paulo: Atlas, 1996.

-
106. SANTOS, R.V. **Silicose Ocupacional**: A Face de uma Problemática Social. São Paulo: LTR, 2000. 221p.
107. INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. **Global Elimination of Silicosis**: The ILO/WHO International Programme. Disponível em <http://www.ilo.org>. Acesso em: 10 outubro 2001.
108. SANTOS, A.M.A. et. al. **Norma de Higiene Ocupacional NHO-08: Amostragem de Aerodispersóides Sólidos em Filtros de Membrana**. São Paulo: Fundacentro, em fase de publicação (2005).
109. TSI INCORPORATED, HEALTH AND SAFETY INSTRUMENTS DIVISION. **How A Virtual Impactor Works**. TSI Application Note ITI-051. St. Paul, Minnessota: TSI, 1997. Disponível em <http://www.tsi.com>. Acesso em: 20 abril 2002.
110. LI, S.N, LUNDGREN, D.A, RIXX, D.R.: **Evaluation of Six Inhalable Aerosol Samplers**. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., n.61, p.506-516, 2000.
111. SANTOS, A.M.A. et. al. **Norma de Higiene Ocupacional NHO-03: Análise Gravimétrica de Aerodispersóides Coletados sobre Filtros de Membrana**. São Paulo: Fundacentro, 2001. 34p.
112. SANTOS, A. M. A. **Determinação Quantitativa de Sílica Livre Cristalizada por Difração de Raios X**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, n° 65, vol. 17, p. 55-59, 1989.
113. NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Particle Size Characterization**: NIST Recommended Practice Guide. USA: NIST, Technology Administration, U.S. Department of Commerce, 2001. Special Publication 960-1.
114. BRITISH STANDARD. **BS 3406 (1993): Methods for Determination of Particle Size Distribution**. Part 4: Guide to Microscope and Image Analysis Methods. UK: British Standard, 1993.
115. RUSS, J.C. **Computer-Assisted Microscopy**: The Measurement and Analysis of Images. New York, USA: Plenum Press, 1992. p.13-220.
116. ALLEN, T. **Particle Size Measurement**: Powder Sampling and Particle Size Measurement. 5th ed. London: Chapman & Hall, v. I, 1997, p. 44-155.
117. MCCRONE, W. C., DELLY, J. G. **The Particle Atlas**. Principles and Techniques. Michigan: Ann Arbor Science Publishers Inc., V.1, 1973, 296 p.

-
118. ROOKER, S. J. **On the Visibility of Fibres by Phase Contrast Microscopy.** Am. Ind. Hyg. assoc. J., v.43, n.7, p.505-515, 1982.
119. GOLDSTEIN, J.I. et al. **Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis.** New York, USA: Plenum Press, 1992. 807 p.
120. LIEDEL, N. A., BUSH, K.A., LYNCH, J. R. **Occupational Exposure Sampling Strategy Manual.** Cincinnati, USA: NIOSH, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service Centers for Disease Control, 1977. 132 p.
121. SWIFT, D.L. **Direct-Reading Instruments for Analyzing Airborne Particles.** In: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants. 7th edition. Cincinnati, USA: ACGIH, 1989. p.477-506.
122. ENVR-116. **Aerosol Science – Laboratory Session.** Fall 2001. Disponível em www.unc.edu/courses/2001fall/envr/116/001/LabCalibration.pdf. Acesso em: 21 Maio 2002.
123. BARON, P.A., MAZUMDER, M.K., CHENG, Y.S.: **Direct-Reading Techniques Using Optical Particle Detection.** In: WILLEKE, K., BARON, P.A. Aerosol Measurement: Principles, Techniques and Applications. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. p.381-409.
124. TSI INCORPORATED. **Aerosizer® DSP Particle Size Analyser.** Disponível em <http://www.tsi.com>. Acesso em: 09 julho 2002.

Apêndice

Tabela A.1: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com disco de desbaste para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Disco de Desbaste		PC-107: Gran. Cinza Mauá			PC-153: Gran.Vermelho Bragança			PC-16: Gran. Dialio Ântico		
Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 ± 0,1	5	1,1	1,1	23	3,5	3,5	174	2,9	2,9
0,7 - 1,0	1,0 ± 0,1	10	2,1	3,2	27	4,1	7,6	354	5,9	8,8
1,0 - 1,4	1,4 ± 0,1	35	7,4	10,6	30	4,6	12,2	740	12,3	21,2
1,4 - 2,0	2,0 ± 0,2	49	10,4	21,1	44	6,7	18,9	1076	17,9	39,1
2,0 - 2,8	2,8 ± 0,3	66	14,0	35,1	78	11,9	30,8	1026	17,1	56,2
2,8 - 4,0	4,0 ± 0,4	92	19,6	54,7	123	18,8	49,6	1028	17,1	73,4
4,0 - 5,6	5,6 ± 0,6	84	17,9	72,6	113	17,3	66,9	687	11,5	84,8
5,6 - 8,0	8,0 ± 0,8	69	14,7	87,2	110	16,8	83,7	513	8,6	93,4
8,0 - 11,3	11 ± 1	30	6,4	93,6	63	9,6	93,3	265	4,4	97,8
11,3 - 16,0	16 ± 2	19	4,0	97,7	35	5,3	98,6	99	1,7	99,4
16,0 - 22,6	23 ± 2	6	1,3	98,9	7	1,1	99,7	25	0,4	99,9
22,6 - 32,0	32 ± 3	5	1,1	100,0	2	0,3	100,0	8	0,1	100,0
32,0 - 45,2	45 ± 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 ± 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		470	100,0		655	100,0		5995	100,0	
Média geométrica (µm)		3,7			3,8			2,6		
Desvio padrão geométrico		2,1			2,2			2,1		
Moda (µm)		2,8 - 4,0			2,8 - 4,0			2,8 - 4,0		

Tabela A.1: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com disco de desbaste para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Disco de Desbaste		PC-86: Gran. Amêndoa Nobre (desbaste úmido)			PC-92: Mármore Carrara (desbaste úmido)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	42	7,5	7,5	166	11,1	11,1
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	51	9,2	16,7	255	17,1	28,2
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	75	13,5	30,2	236	15,8	44,0
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	74	13,3	43,4	239	16,0	60,1
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	64	11,5	54,9	176	11,8	71,8
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	57	10,2	65,2	149	10,0	81,8
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	76	13,6	78,8	100	6,7	88,5
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	47	8,4	87,3	86	5,8	94,3
8,0 - 11,3	11 \pm 1	31	5,6	92,8	50	3,4	97,7
11,3 - 16,0	16 \pm 2	26	4,7	97,5	24	1,6	99,3
16,0 - 22,6	23 \pm 2	12	2,2	99,6	9	0,6	99,9
22,6 - 32,0	32 \pm 3	2	0,4	100,0	1	0,1	99,9
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	0	0,0	99,9
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	1	0,1	100,0
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		557	100,0		1492	100,0	
Média geométrica (μm)		2,6			1,8		
Desvio padrão geométrico		2,5			2,3		
Moda (μm)		4,0 - 5,6			1,0 - 1,4		

Tabela A.2: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com rebolo abrasivo de gramatura N°120 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Rebolo 120		PC-95: MárM.Carrara (úmido)			PC-105: Silestone			PC-178: MárM.Travertino		
Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 ± 0,1	128	7,3	7,3	27	2,8	2,8	247	6,7	6,7
0,7 - 1,0	1,0 ± 0,1	185	10,5	17,8	53	5,4	8,2	556	15,1	21,8
1,0 - 1,4	1,4 ± 0,1	191	10,8	28,6	50	5,1	13,3	711	19,3	41,2
1,4 - 2,0	2,0 ± 0,2	260	14,8	43,4	110	11,2	24,5	717	19,5	60,6
2,0 - 2,8	2,8 ± 0,3	278	15,8	59,1	112	11,4	35,9	527	14,3	75,0
2,8 - 4,0	4,0 ± 0,4	220	12,5	71,6	176	17,9	53,8	392	10,7	85,6
4,0 - 5,6	5,6 ± 0,6	176	10,0	81,6	123	12,5	66,4	258	7,0	92,6
5,6 - 8,0	8,0 ± 0,8	161	9,1	90,7	130	13,3	79,6	148	4,0	96,7
8,0 - 11,3	11 ± 1	93	5,3	96,0	89	9,1	88,7	71	1,9	98,6
11,3 - 16,0	16 ± 2	44	2,5	98,5	53	5,4	94,1	31	0,8	99,4
16,0 - 22,6	23 ± 2	18	1,0	99,5	33	3,4	97,5	14	0,4	99,8
22,6 - 32,0	32 ± 3	6	0,3	99,9	16	1,6	99,1	2	0,1	99,9
32,0 - 45,2	45 ± 4	2	0,1	100,0	6	0,6	99,7	5	0,1	100,0
45,2 - 64,0	64 ± 6	-	-	-	2	0,2	99,9	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	1	0,1	100,0	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		1762	100,0		981	100,0		3679	100,0	
Média geométrica (µm)			2,4			3,9			1,8	
Desvio padrão geométrico			2,4			2,4			2,0	
Moda (µm)			2,0 - 2,8			2,8 - 4,0			1,4 - 2,0	

Tabela A.2: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com rebolo abrasivo de gramatura N°120 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Rebolo 120		EC-05: Granito Acqualux			EC-10: Silestone Branco			EC-23:Granito Cinza Mauá		
Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 ± 0,1	24	1,1	1,1	540	9,5	9,5	132	5,6	5,6
0,7 - 1,0	1,0 ± 0,1	101	4,6	5,7	706	12,4	21,9	182	7,7	13,3
1,0 - 1,4	1,4 ± 0,1	246	11,2	16,9	839	14,7	36,6	344	14,6	27,9
1,4 - 2,0	2,0 ± 0,2	409	18,6	35,5	948	16,6	53,2	446	18,9	46,8
2,0 - 2,8	2,8 ± 0,3	425	19,3	54,8	825	14,5	67,7	358	15,2	62,0
2,8 - 4,0	4,0 ± 0,4	355	16,1	70,9	731	12,8	80,5	302	12,8	74,8
4,0 - 5,6	5,6 ± 0,6	251	11,4	82,4	490	8,6	89,1	222	9,4	84,2
5,6 - 8,0	8,0 ± 0,8	186	8,5	90,8	304	5,3	94,4	199	8,4	92,7
8,0 - 11,3	11 ± 1	111	5,0	95,9	145	2,5	97,0	116	4,9	97,6
11,3 - 16,0	16 ± 2	61	2,8	98,6	97	1,7	98,7	47	2,0	99,6
16,0 - 22,6	23 ± 2	21	1,0	99,6	40	0,7	99,4	8	0,3	99,9
22,6 - 32,0	32 ± 3	8	0,4	100,0	24	0,4	99,8	3	0,1	100,0
32,0 - 45,2	45 ± 4	1	0,1	100,0	11	0,2	100,0	-	-	-
45,2 - 64,0	64 ± 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		2199	100,0		5700	100,00		2358	100,0	
Média geométrica (µm)			2,8			2,0			2,3	
Desvio padrão geométrico			2,1			2,3			2,2	
Moda (µm)			2,0 - 2,8			1,4 - 2,0			1,4 - 2,0	

Tabela A.3: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N° 36 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Lixa 36		PC-130: Már. Branco Piguês			PC-131: Már. Branco Piguês			PC-136: Már. Travertino Romano		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	550	8,5	8,5	556	8,7	8,7	73	7,0	7,0
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	916	14,1	22,6	907	14,2	22,9	69	6,6	13,6
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	991	15,3	37,9	910	14,2	37,1	67	6,4	20,0
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	960	14,8	52,7	960	15,0	52,1	82	7,9	27,9
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	878	13,5	66,2	823	12,9	65,0	106	10,2	38,0
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	827	12,8	79,0	822	12,9	77,8	111	10,6	48,7
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	642	9,9	88,9	599	9,4	87,2	150	14,4	63,0
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	454	7,0	95,9	429	6,7	93,9	114	10,9	73,9
8,0 - 11,3	11 \pm 1	184	2,8	98,7	239	3,7	97,7	117	11,2	85,2
11,3 - 16,0	16 \pm 2	58	0,9	99,6	104	1,6	99,3	80	7,7	92,8
16,0 - 22,6	23 \pm 2	25	0,5	100,0	36	0,6	99,8	35	3,4	96,2
22,6 - 32,0	32 \pm 3	-	-	-	6	0,1	99,9	24	2,3	98,5
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	4	0,1	100,0	9	0,9	99,3
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-	5	0,5	99,8
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-	1	0,1	99,9
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-	1	0,1	100,0
TOTAL		6485	100,0		6395	100,0		1044	100,0	
Média geométrica (μm)			2,0			2,0			3,8	
Desvio padrão geométrico			2,2			2,3			2,9	
Moda (μm)			1,0- 1,4			1,4 - 2,0			4,0 - 5,6	

Tabela A.3: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N° 36 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Lixa 36		PC-07: Granito Acqualux			PC-28: Mármore. Travertino		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	24	3,0	3,0	346	9,0	9,0
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	42	5,2	8,1	765	20,0	29,1
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	41	5,1	13,2	861	22,5	51,6
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	80	9,9	23,1	657	17,2	68,8
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	124	15,3	38,3	442	11,6	80,3
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	153	18,9	57,2	347	9,1	89,4
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	133	16,4	73,6	199	5,2	94,6
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	124	15,3	88,9	142	3,7	98,3
8,0 - 11,3	11 \pm 1	64	7,9	96,8	43	1,1	99,4
11,3 - 16,0	16 \pm 2	19	2,3	99,1	16	0,4	99,8
16,0 - 22,6	23 \pm 2	6	0,7	99,9	6	0,2	100,0
22,6 - 32,0	32 \pm 3	1	0,1	100,0	-	-	-
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		811	100,0		3824	100,0	
Média geométrica (μm)		3,3			1,6		
Desvio padrão geométrico		2,1			2,0		
Moda (μm)		2,8 - 4,0			1,0 - 1,4		

Tabela A.4: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°60 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Lixa 60		PM-112: Granito Cinza Mauá			PM-115: Mármore Branco Piguês			BA-148: Mármore Branco Piguês		
Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 ± 0,1	61	2,6	2,6	89	6,6	6,6	465	10,3	10,3
0,7 - 1,0	1,0 ± 0,1	76	3,2	5,8	134	10,0	16,6	650	14,4	24,7
1,0 - 1,4	1,4 ± 0,1	104	4,4	10,2	178	13,3	29,9	642	14,2	38,9
1,4 - 2,0	2,0 ± 0,2	187	7,9	18,0	168	12,5	42,4	630	13,9	52,8
2,0 - 2,8	2,8 ± 0,3	285	12,0	30,0	178	13,3	55,7	548	12,1	65,0
2,8 - 4,0	4,0 ± 0,4	436	18,4	48,4	174	13,0	68,6	579	12,8	77,8
4,0 - 5,6	5,6 ± 0,6	529	22,3	70,7	129	9,6	78,2	422	9,3	87,1
5,6 - 8,0	8,0 ± 0,8	352	14,8	85,5	128	9,5	87,8	303	6,7	93,8
8,0 - 11,3	11 ± 1	217	9,1	94,7	96	7,2	94,9	172	3,8	97,6
11,3 - 16,0	16 ± 2	88	3,7	98,4	46	3,4	98,4	77	1,7	99,3
16,0 - 22,6	23 ± 2	24	1,0	99,4	15	1,1	99,5	23	0,5	99,8
22,6 - 32,0	32 ± 3	13	0,5	100,0	3	0,2	99,7	7	0,2	100,0
32,0 - 45,2	45 ± 4	1	0,0	100,0	3	0,2	99,9	-	-	-
45,2 - 64,0	64 ± 6	-	-	-	1	0,1	100,0	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		2373	100,0		1342	100,0		4518	100,0	
Média geométrica (µm)			3,8			2,6			2,0	
Desvio padrão geométrico			2,1			2,4			2,3	
Moda (µm)			4,0 - 5,6			1,4 - 2,0			0,7 - 1,0	

Tabela A.5: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°120 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Lixa 120		PC-119: Granito Cinza Corumbá			PC-122: Gran.Amarelo Sta.Cecília			PC-154: Gran.Vermelho Bragança		
Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 ± 0,1	82	4,7	4,7	30	1,7	1,7	18	2,8	2,8
0,7 - 1,0	1,0 ± 0,1	72	4,1	8,8	52	2,9	4,6	20	3,1	5,8
1,0 - 1,4	1,4 ± 0,1	83	4,7	13,5	125	7,0	11,6	40	6,1	11,9
1,4 - 2,0	2,0 ± 0,2	128	7,3	20,8	256	14,4	26,0	62	9,5	21,4
2,0 - 2,8	2,8 ± 0,3	208	11,9	32,6	304	17,1	43,1	81	12,4	33,8
2,8 - 4,0	4,0 ± 0,4	257	14,6	47,3	325	18,3	61,4	182	27,9	61,7
4,0 - 5,6	5,6 ± 0,6	277	15,8	63,1	210	11,8	73,2	84	12,9	74,6
5,6 - 8,0	8,0 ± 0,8	308	17,5	80,6	238	13,4	86,6	76	11,6	86,2
8,0 - 11,3	11 ± 1	181	10,3	90,9	144	8,1	94,7	52	8,0	94,2
11,3 - 16,0	16 ± 2	104	5,9	96,9	70	3,9	98,6	25	3,8	98,0
16,0 - 22,6	23 ± 2	40	2,3	99,1	15	0,8	99,4	8	1,2	99,2
22,6 - 32,0	32 ± 3	12	0,7	99,8	9	0,5	99,9	4	0,6	99,8
32,0 - 45,2	45 ± 4	2	0,1	99,9	1	0,1	100,0	1	0,2	100,0
45,2 - 64,0	64 ± 6	0	0,0	99,9	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	1	0,1	100,0	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		1755	100,0		1779	100,0		653	100,0	
Média geométrica (µm)			3,8			3,3			3,5	
Desvio padrão geométrico			2,4			2,1			2,2	
Moda (µm)			5,6 - 8,0			2,8 - 4,0			2,8 - 4,0	

Tabela A.5: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°120 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Lixa 120		PC-155: Ardósia Cinza			PC-164: Mármore Boticcino		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	222	4,0	4,0	364	6,4	6,4
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	682	12,2	16,2	659	11,5	17,9
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	1018	18,2	34,4	885	15,5	33,4
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	771	13,8	48,3	921	16,1	49,5
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	963	17,3	65,5	914	16,0	65,5
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	837	15,0	80,5	767	13,4	79,0
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	521	9,3	89,9	558	9,8	88,7
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	354	6,3	96,2	335	5,9	94,6
8,0 - 11,3	11 \pm 1	148	2,7	98,9	173	3,0	97,6
11,3 - 16,0	16 \pm 2	44	0,8	99,6	99	1,7	99,4
16,0 - 22,6	23 \pm 2	17	0,3	99,9	29	0,5	99,9
22,6 - 32,0	32 \pm 3	3	0,1	100,0	8	0,1	100,0
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		5580	100,0		5712	100,0	
Média geométrica (μm)		2,1			2,1		
Desvio padrão geométrico		2,0			2,2		
Moda (μm)		1,0 - 1,4			1,4 - 2,0		

Tabela A.5: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°120 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Lixa 120		PC-165: Granito Branco Polar			PC-06: Granito Acqualux		
Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 ± 0,1	40	2,8	2,8	76	5,2	5,2
0,7 - 1,0	1,0 ± 0,1	66	4,6	7,5	87	5,9	11,1
1,0 - 1,4	1,4 ± 0,1	90	6,3	13,8	154	10,5	21,5
1,4 - 2,0	2,0 ± 0,2	181	12,7	26,5	261	17,7	39,3
2,0 - 2,8	2,8 ± 0,3	185	13,0	39,5	226	15,4	54,6
2,8 - 4,0	4,0 ± 0,4	213	15,0	54,5	206	14,0	68,6
4,0 - 5,6	5,6 ± 0,6	196	13,8	68,3	154	10,5	79,1
5,6 - 8,0	8,0 ± 0,8	187	13,2	81,4	162	11,0	90,1
8,0 - 11,3	11 ± 1	139	9,8	91,2	93	6,3	96,4
11,3 - 16,0	16 ± 2	83	5,8	97,0	46	3,1	99,5
16,0 - 22,6	23 ± 2	32	2,3	99,3	4	0,3	99,8
22,6 - 32,0	32 ± 3	7	0,5	99,8	3	0,2	100,0
32,0 - 45,2	45 ± 4	2	0,1	99,9	-	-	-
45,2 - 64,0	64 ± 6	1	0,1	100,0	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		1422	100,0		1472	100,0	
Média geométrica (µm)			3,6			2,7	
Desvio padrão geométrico			2,3			2,2	
Moda (µm)			2,8 - 4,0			1,4 - 2,0	

Tabela A.6: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°180 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Lixa 180		PC-126: Silestone Branco			PC-147: Márm.Branco Piguês			PC-170: Marmol Compac Branco		
Intervalo de Classe (µm)	Diâm.máx. da classe (µm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 ± 0,1	168	7,1	7,1	201	10,1	10,1	132	5,0	5,0
0,7 - 1,0	1,0 ± 0,1	237	10,0	17,1	296	14,9	25,1	268	10,2	15,2
1,0 - 1,4	1,4 ± 0,1	247	10,4	27,5	302	15,2	40,3	469	17,8	33,0
1,4 - 2,0	2,0 ± 0,2	295	12,5	40,0	273	13,8	54,1	458	17,4	50,4
2,0 - 2,8	2,8 ± 0,3	335	14,1	54,1	242	12,2	66,3	357	13,6	64,0
2,8 - 4,0	4,0 ± 0,4	390	16,5	70,6	235	11,9	78,2	325	12,3	76,3
4,0 - 5,6	5,6 ± 0,6	284	12,0	82,6	168	8,5	86,6	214	8,1	84,4
5,6 - 8,0	8,0 ± 0,8	195	8,2	90,8	123	6,2	92,8	176	6,7	91,1
8,0 - 11,3	11 ± 1	120	5,1	95,9	76	3,8	96,7	104	3,9	95,1
11,3 - 16,0	16 ± 2	65	2,7	98,6	48	2,4	99,1	71	2,7	97,8
16,0 - 22,6	23 ± 2	20	0,8	99,5	14	0,7	99,8	41	1,6	99,3
22,6 - 32,0	32 ± 3	10	0,4	99,9	3	0,2	99,9	14	0,5	99,8
32,0 - 45,2	45 ± 4	2	0,1	100,0	0	0,0	99,9	4	0,2	100,0
45,2 - 64,0	64 ± 6	-	-	-	1	0,1	100,0	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		2368	100,0		1982	100,0		2633	100,0	
Média geométrica (µm)			2,5			2,0			2,3	
Desvio padrão geométrico			2,3			2,3			2,3	
Moda (µm)			2,8 - 4,0			1,0 - 1,4			1,0 - 1,4	

Tabela A.6: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixa abrasiva de gramatura N°180 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Lixa 180		PC-180: Mármore Travertino			PC-12: Granito Branco Sibéria			PC-13: Már. Crema Marfil		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	480	7,7	7,7	114	3,9	3,9	404	5,6	5,6
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	1042	16,7	24,4	173	5,9	9,7	640	8,8	14,4
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	1360	21,8	46,1	257	8,7	18,4	965	13,3	27,7
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	1086	17,4	63,5	368	12,5	30,9	1428	19,7	47,3
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	768	12,3	75,8	523	17,7	48,6	1481	20,4	67,7
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	633	10,1	85,9	537	18,2	66,8	1111	15,3	83,0
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	448	7,2	93,1	432	14,6	81,4	620	8,5	91,5
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	264	4,2	97,3	294	10,0	91,4	276	3,8	95,3
8,0 - 11,3	11 \pm 1	108	1,7	99,0	171	5,8	97,2	134	1,8	97,2
11,3 - 16,0	16 \pm 2	48	0,8	99,8	49	1,7	98,8	82	1,1	98,3
16,0 - 22,6	23 \pm 2	13	0,2	100,0	20	0,7	99,5	65	0,9	99,2
22,6 - 32,0	32 \pm 3	-	-	-	10	0,3	99,9	24	0,3	99,5
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	4	0,1	100,0	23	0,3	99,8
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-	11	0,1	100,0
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		6250	100,0		2952	100,0		7264	100,0	
Média geométrica (μm)			1,7			2,8			2,0	
Desvio padrão geométrico			2,0			2,1			2,2	
Moda (μm)			1,0 - 1,4			2,8 - 4,0			2,0 - 2,8	

Tabela A.7: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras manuais elétricas com lixas abrasivas de gramaturas N°1000 e 1200 para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Lixa Finas		PC-179: MárM.Crema Marfil (lixa 1000)			PC-97: Travertino Bege Bahia (lixa 1200)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 – 0,7	0,7 \pm 0,1	176	5,0	5,0	45	2,5	2,5
0,7 – 1,0	1,0 \pm 0,1	344	9,7	14,7	81	4,4	6,9
1,0 – 1,4	1,4 \pm 0,1	656	18,5	33,1	213	11,6	18,5
1,4 – 2,0	2,0 \pm 0,2	925	26,1	59,2	356	19,4	37,9
2,0 – 2,8	2,8 \pm 0,3	683	19,3	78,5	349	19,0	56,9
2,8 – 4,0	4,0 \pm 0,4	437	12,3	90,8	322	17,5	74,4
4,0 – 5,6	5,6 \pm 0,6	166	4,7	95,5	225	12,3	86,7
5,6 – 8,0	8,0 \pm 0,8	90	2,5	98,0	135	7,4	94,0
8,0 - 11,3	11 \pm 1	45	1,3	99,3	55	3,0	97,0
11,3 - 16,0	16 \pm 2	19	0,5	99,8	30	1,6	98,6
16,0 - 22,6	23 \pm 2	7	0,2	100,0	19	1,0	99,7
22,6 - 32,0	32 \pm 3	-	-	-	4	0,2	99,9
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	2	0,1	100,0
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		3548	100,0		1836	100,0	
Média geométrica (μm)			1,8			2,6	
Desvio padrão geométrico			1,8			2,0	
Moda (μm)			1,4 - 2,0			1,4 - 2,0	

Tabela A.8: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de serras elétricas manuais (serra-mármore) com disco diamantado para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Serra-mármore		PC-83: Már. Branco Esp.Santo (corte a úmido – água contínua)			PC-100: Limestone (corte a seco)			PC-124: Gran. Branco Polar (dispersão a 1 metro da fonte)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	533	10,4	10,4	570	9,5	9,5	159	4,3	4,3
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	666	13,0	23,4	1020	17,1	26,6	223	6,1	10,4
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	699	13,6	37,0	1206	20,2	46,8	289	7,9	18,3
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	681	13,3	50,3	1043	17,5	64,3	372	10,2	28,5
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	632	12,3	62,6	774	13,0	77,3	454	12,4	40,9
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	605	11,8	74,4	593	9,9	87,2	671	18,3	59,3
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	504	9,8	84,3	346	5,8	93,0	598	16,3	75,6
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	446	8,7	93,0	193	3,2	96,2	433	11,8	87,4
8,0 - 11,3	11 \pm 1	211	4,1	97,1	138	2,3	98,5	260	7,1	94,5
11,3 - 16,0	16 \pm 2	102	2,0	99,1	57	1,0	99,5	120	3,3	97,8
16,0 - 22,6	23 \pm 2	33	0,6	99,7	25	0,4	99,9	44	1,2	99,0
22,6 - 32,0	32 \pm 3	11	0,2	99,9	5	0,1	100,0	30	0,8	99,8
32,0 - 45,2	45 \pm 4	3	0,1	100,0	-	-	-	4	0,1	99,9
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-	2	0,1	100,0
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		5126	100,0		5970	100,0		3659	100,0	
Média geométrica (μm)			2,1			1,7			3,2	
Desvio padrão geométrico			2,4			2,1			2,3	
Moda (μm)			1,0 - 1,4			1,0 - 1,4			2,8 - 4,0	

Tabela A.8: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de serras elétricas manuais (serra-mármore) com disco diamantado para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Serra-mármore		PC-134: Már. Malachia Oro (corte a seco)			PC-138: Granito Preto S. Gabriel (corte a seco)			PC-144: Mármore Branco Piguês (corte umedecido c/ garrafa d'água)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	59	8,4	8,4	240	10,9	10,9	116	10,1	10,1
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	82	11,7	20,1	309	14,0	24,9	158	13,8	24,0
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	105	14,9	35,0	347	15,7	40,6	176	15,4	39,4
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	99	14,1	49,1	339	15,4	56,0	156	13,6	53,0
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	115	16,4	65,4	309	14,0	70,0	143	12,5	65,5
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	74	10,5	76,0	229	10,4	80,4	137	12,0	77,5
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	72	10,2	86,2	187	8,5	88,9	106	9,3	86,8
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	59	8,4	94,6	133	6,0	94,9	64	5,6	92,4
8,0 - 11,3	11 \pm 1	22	3,1	97,7	50	2,3	97,2	50	4,4	96,8
11,3 - 16,0	16 \pm 2	12	1,7	99,4	44	2,0	99,2	23	2,0	98,8
16,0 - 22,6	23 \pm 2	4	0,6	100,0	10	0,5	99,6	11	1,0	99,7
22,6 - 32,0	32 \pm 3	-	-	-	4	0,2	99,8	3	0,3	100,0
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	3	0,1	100,0	-	-	-
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	1	0,1	100,0	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		703	100,0		2205	100,0		1143	100,00	
Média geométrica (μm)			2,2			1,9			2,02	
Desvio padrão geométrico			2,3			2,3			2,3	
Moda (μm)			2,0 - 2,8			1,0 - 1,4			1,0 - 1,4	

Tabela A.8: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de serras elétricas manuais (serra-mármore) com disco diamantado para acabamento a seco. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Serra-mármore		PC-151: Pedra Goiás (corte umedecido c/ garrafa d'água)			PC-157: Pedra Goiás (corte umedecido c/ garrafa d'água)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	20	2,4	2,4	14	2,9	2,9
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	34	4,1	6,5	30	6,3	9,2
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	93	11,2	17,8	33	6,9	16,2
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	150	18,1	35,9	54	11,3	27,5
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	151	18,2	54,1	93	19,5	47,1
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	102	12,3	66,4	83	17,4	64,5
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	98	11,8	78,3	70	14,7	79,2
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	95	11,5	89,7	56	11,8	91,0
8,0 - 11,3	11 \pm 1	59	7,1	96,9	26	5,5	96,4
11,3 - 16,0	16 \pm 2	17	2,1	98,9	12	2,5	98,9
16,0 - 22,6	23 \pm 2	8	1,0	99,9	3	0,6	99,6
22,6 - 32,0	32 \pm 3	1	0,1	100,0	2	0,4	100,0
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		828	100,0		476	100,0	
Média geométrica (μm)			2,9			3,0	
Desvio padrão geométrico			2,1			2,1	
Moda (μm)			2,0 - 2,8			2,0 - 2,8	

Tabela A.9: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de serras circulares de bancada para corte tradicional a úmido. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Corte Tradicional		PC-111: Granito Branco Polar			PC-152: Pedra Goiás			PC-156: Mármore Travertino		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	15	4,1	4,1	76	5,8	5,8	194	13,2	13,2
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	34	9,3	13,4	173	13,1	18,8	298	20,3	33,5
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	38	10,4	23,8	247	18,7	37,5	296	20,2	53,7
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	43	11,8	35,6	249	18,8	56,4	254	17,3	71,0
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	43	11,8	47,4	206	15,6	72,0	148	10,1	81,1
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	56	15,3	62,7	125	9,5	81,5	141	9,6	90,7
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	50	13,7	76,4	104	7,9	89,3	66	4,5	95,2
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	44	12,1	88,5	54	4,1	93,4	35	2,4	97,5
8,0 - 11,3	11 \pm 1	26	7,1	95,6	49	3,7	97,1	22	1,5	99,0
11,3 - 16,0	16 \pm 2	13	3,6	99,2	26	2,0	99,1	9	0,6	99,7
16,0 - 22,6	23 \pm 2	3	0,8	100,0	10	0,8	99,8	3	0,2	99,9
22,6 - 32,0	32 \pm 3	-	-	-	2	0,2	100,0	2	0,1	100,0
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		365	100,0		1321	100,0		1468	100,0	
Média geométrica (μm)			2,9			2,0			1,5	
Desvio padrão geométrico			2,3			2,2			2,0	
Moda (μm)			2,8 -4,0			1,4 - 2,0			0,7 - 1,0	

Tabela A.9: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de serras circulares de bancada para corte tradicional a úmido. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Corte Tradicional		PC-160: Mármore Branco Comum			PC-89: Granito Amêndoa Nobre			PC-91 Mármore Travertino		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	$0,7 \pm 0,1$	256	8,8	8,8	102	6,2	6,2	275	9,4	9,4
0,7 - 1,0	$1,0 \pm 0,1$	583	20,0	28,8	138	8,4	14,6	439	15,0	24,4
1,0 - 1,4	$1,4 \pm 0,1$	719	24,6	53,4	254	15,5	30,1	526	18,0	42,4
1,4 - 2,0	$2,0 \pm 0,2$	493	16,9	70,3	272	16,6	46,7	462	15,8	58,2
2,0 - 2,8	$2,8 \pm 0,3$	279	9,6	79,9	256	15,6	62,2	367	12,6	70,8
2,8 - 4,0	$4,0 \pm 0,4$	225	7,7	87,6	211	12,9	75,1	315	10,8	81,5
4,0 - 5,6	$5,6 \pm 0,6$	166	5,7	93,3	170	10,4	85,4	257	8,8	90,3
5,6 - 8,0	$8,0 \pm 0,8$	109	3,7	97,0	123	7,5	92,9	139	4,8	95,1
8,0 - 11,3	11 ± 1	64	2,2	99,2	70	4,3	97,2	77	2,6	97,7
11,3 - 16,0	16 ± 2	17	0,6	99,8	30	1,8	99,0	40	1,4	99,1
16,0 - 22,6	23 ± 2	5	0,2	100,0	13	0,8	99,8	16	0,5	99,6
22,6 - 32,0	32 ± 3	1	0,0	100,0	1	0,1	99,9	8	0,3	99,9
32,0 - 45,2	45 ± 4	-	-	-	1	0,1	99,9	3	0,1	100,0
45,2 - 64,0	64 ± 6	-	-	-	1	0,1	100,0	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		2917	100,0		1642	100,0		2924	100,0	
Média geométrica (μm)		1,6			2,3			1,9		
Desvio padrão geométrico		2,0			2,2			2,2		
Moda (μm)		1,0 - 1,4			1,4 - 2,0			1,0 - 1,4		

Tabela A.10: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras pneumáticas para acabamento a úmido. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Lixadeira Pneumática (acabamento a úmido)		PC-79: Mármore Carrara			PC-80: Már. Branco Esp.Santo		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	71	10,5	10,5	31	11,6	11,6
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	96	14,2	24,8	39	14,6	26,2
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	94	13,9	38,7	27	10,1	36,3
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	100	14,8	53,6	34	12,7	49,1
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	73	10,8	64,4	30	11,2	60,3
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	70	10,4	74,8	24	9,0	69,3
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	59	8,8	83,5	23	8,6	77,9
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	39	5,8	89,3	25	9,4	87,3
8,0 - 11,3	11 \pm 1	36	5,3	94,7	16	6,0	93,3
11,3 - 16,0	16 \pm 2	22	3,3	97,9	13	4,9	98,1
16,0 - 22,6	23 \pm 2	10	1,5	99,4	3	1,1	99,3
22,6 - 32,0	32 \pm 3	4	0,6	100,0	1	0,4	99,6
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	1	0,4	100,0
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		674	100,0		267	100,0	
Média geométrica (μm)			2,1			2,3	
Desvio padrão geométrico			2,5			2,6	
Moda (μm)			1,4 - 2,0			0,7 - 1,0	

Tabela A.10: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas junto a operadores de lixadeiras pneumáticas para acabamento a úmido. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Lixadeira Pneumática (acabamento a úmido)		PC-87: Limestone Bege			PC-94: Mármore Branco Comum		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	118	9,8	9,8	112	9,1	9,1
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	196	16,3	26,1	172	14,0	23,1
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	172	14,3	40,3	191	15,5	38,6
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	194	16,1	56,4	177	14,4	52,9
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	159	13,2	69,6	205	16,6	69,6
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	128	10,6	80,2	155	12,6	82,1
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	85	7,1	87,3	136	11,0	93,2
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	64	5,3	92,6	53	4,3	97,5
8,0 - 11,3	11 \pm 1	49	4,1	96,7	24	1,9	99,4
11,3 - 16,0	16 \pm 2	29	2,4	99,1	7	0,6	100,0
16,0 - 22,6	23 \pm 2	10	0,8	99,9	-	-	-
22,6 - 32,0	32 \pm 3	1	0,1	100,0	-	-	-
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-
TOTAL		1205	100,0		1232	100,0	
Média geométrica (μm)		1,9			1,9		
Desvio padrão geométrico		2,3			2,1		
Moda (μm)		0,7 - 1,0			2,0 - 2,8		

Tabela A.11: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas em áreas de circulação de trabalhadores para verificação de dispersão da poeira pelo ambiente junto a operadores de lixadeiras pneumáticas para acabamento a úmido. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem

Dispersão da poeira pelo ambiente		PC-82: Geral úmido (3 metros do acabamento)			PC-84: Geral úmido (próximo da serra-ponte)			PC-85: Geral úmido (fundo da marmoraria)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	$0,7 \pm 0,1$	22	6,3	6,3	39	7,8	7,8	58	8,3	8,3
0,7 - 1,0	$1,0 \pm 0,1$	46	13,2	19,5	42	8,5	16,3	54	7,7	16,0
1,0 - 1,4	$1,4 \pm 0,1$	46	13,2	32,8	54	10,9	27,2	67	9,6	25,6
1,4 - 2,0	$2,0 \pm 0,2$	35	10,1	42,8	64	12,9	40,0	87	12,5	38,1
2,0 - 2,8	$2,8 \pm 0,3$	55	15,8	58,6	60	12,1	52,1	122	17,5	55,6
2,8 - 4,0	$4,0 \pm 0,4$	61	17,5	76,1	57	11,5	63,6	100	14,3	69,9
4,0 - 5,6	$5,6 \pm 0,6$	34	9,8	85,9	62	12,5	76,1	64	9,2	79,1
5,6 - 8,0	$8,0 \pm 0,8$	26	7,5	93,4	55	11,1	87,1	77	11,0	90,1
8,0 - 11,3	11 ± 1	16	4,6	98,0	48	9,7	96,8	46	6,6	96,7
11,3 - 16,0	16 ± 2	6	1,7	99,7	15	3,0	99,8	22	3,2	99,9
16,0 - 22,6	23 ± 2	1	0,3	100,0	1	0,2	100,0	1	0,1	100,0
22,6 - 32,0	32 ± 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32,0 - 45,2	45 ± 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 ± 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 ± 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 ± 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		348	100,0		497	100,0		698	100,0	
Média geométrica (μm)			2,2			2,7			2,6	
Desvio padrão geométrico			2,2			2,5			2,4	
Moda (μm)			2,8 - 4,0			1,4 - 2,0			2,0 - 2,8	

Tabela A.11: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas em áreas de circulação de trabalhadores para verificação de dispersão da poeira pelo ambiente junto a operadores de lixadeiras pneumáticas para acabamento a úmido. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Dispersão da poeira pelo ambiente		PC-90: Geral úmido (entre setores corte e acabamento)			PC-93: Geral úmido (durante parada p/ almoço)			PC-140: Geral acabamento seco (poeira gerada por serra-mármore)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	81	8,1	8,1	21	9,6	9,6	260	6,9	6,9
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	102	10,1	18,2	29	13,2	22,8	429	11,3	18,2
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	127	12,6	30,8	25	11,4	34,2	546	14,4	32,7
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	155	15,4	46,3	29	13,2	47,5	631	16,7	49,3
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	166	16,5	62,8	30	13,7	61,2	543	14,4	63,7
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	156	15,5	78,3	25	11,4	72,6	494	13,1	76,8
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	95	9,5	87,8	15	6,8	79,5	331	8,8	85,5
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	62	6,2	93,9	26	11,9	91,3	237	6,3	91,8
8,0 - 11,3	11 \pm 1	33	3,3	97,2	10	4,6	95,9	137	3,6	95,4
11,3 - 16,0	16 \pm 2	19	1,9	99,1	7	3,2	99,1	82	2,2	97,6
16,0 - 22,6	23 \pm 2	9	0,9	100,0	1	0,5	99,5	52	1,4	98,9
22,6 - 32,0	32 \pm 3	-	-	-	0	0,0	99,5	26	0,7	99,6
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	1	0,5	100,0	12	0,3	99,9
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-	2	0,1	100,0
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		1005	100,0		219	100,0		3782	100,0	
Média geométrica (μm)		2,2			2,2			2,2		
Desvio padrão geométrico		2,2			2,5			2,4		
Moda (μm)		2,0 - 2,8			2,0 - 2,8			1,4 - 2,0		

Tabela A.11: Distribuição dos tamanhos das partículas para as amostras coletadas em áreas de circulação de trabalhadores para verificação de dispersão da poeira pelo ambiente junto a operadores de lixadeiras pneumáticas para acabamento a úmido. Valores de medição obtidos por meio da técnica de microscopia associada à análise de imagem (continuação)

Dispersão da poeira pelo ambiente		PC-141: Geral corte tradicional (poeira gerada por serra mármore)			PC-142: Geral serra-ponte (ponto mais afastado do acabamento)			PC-150: Geral (entre corte e acabamento c/ exaustão)		
Intervalo de Classe (μm)	Diâm.máx. da classe (μm)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)	Número Partículas por classe	Frequência por classe (%)	Frequência acumulada (%)
0,5 - 0,7	0,7 \pm 0,1	135	6,0	6,0	231	8,6	8,6	110	9,2	9,2
0,7 - 1,0	1,0 \pm 0,1	258	11,5	17,5	384	14,3	22,9	157	13,1	22,3
1,0 - 1,4	1,4 \pm 0,1	310	13,8	31,2	408	15,2	38,0	191	15,9	38,2
1,4 - 2,0	2,0 \pm 0,2	350	15,5	46,8	449	16,7	54,7	168	14,0	52,2
2,0 - 2,8	2,8 \pm 0,3	301	13,4	60,1	423	15,7	70,5	164	13,7	65,8
2,8 - 4,0	4,0 \pm 0,4	305	13,5	73,7	360	13,4	83,9	160	13,3	79,2
4,0 - 5,6	5,6 \pm 0,6	260	11,5	85,2	262	9,7	93,6	107	8,9	88,1
5,6 - 8,0	8,0 \pm 0,8	180	8,0	93,2	105	3,9	97,5	80	6,7	94,8
8,0 - 11,3	11 \pm 1	97	4,3	97,5	45	1,7	99,2	34	2,8	97,6
11,3 - 16,0	16 \pm 2	47	2,1	99,6	16	0,6	99,8	21	1,8	99,3
16,0 - 22,6	23 \pm 2	6	0,3	99,9	5	0,2	100,0	8	0,7	100,0
22,6 - 32,0	32 \pm 3	3	0,1	100,0	1	0,0	100,0	-	-	-
32,0 - 45,2	45 \pm 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45,2 - 64,0	64 \pm 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64,0 - 90,5	90 \pm 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90,5 - 100,0	100 \pm 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		2252	100,0		2689	100,0		1200	100,0	
Média geométrica (μm)			2,3			1,8			2,0	
Desvio padrão geométrico			2,2			2,1			2,2	
Moda (μm)			1,4 - 2,0			1,4 - 2,0			1,0 - 1,4	