

**GERRIT GRUENZNER**

**AVALIAÇÃO DA POEIRA DE SÍLICA:  
UM ESTUDO DE CASO EM UMA PEDREIRA NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

**Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia.**

**São Paulo  
2003**

**GERRIT GRUENZNER**

**AVALIAÇÃO DA POEIRA DE SÍLICA:  
UM ESTUDO DE CASO EM UMA PEDREIRA NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

**Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia.**

**Área de Concentração:  
Engenharia Mineral**

**Orientador:  
Prof. Titular  
Sérgio Médici de Eston**

**São Paulo  
2003**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 3 de Setembro de 2003.

Assinatura do autor Gerrit Gruenzner

Assinatura do orientador Regis Frederico

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Gruenzner, Gerrit**

**Avaliação da poeira de sílica : um estudo de caso em uma -  
pedreira na região metropolitana de São Paulo / G. Gruenzner. --  
ed.rev. -- São Paulo, 2003.**

93 p.

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de  
Petróleo.**

**1.Saúde ocupacional 2.Riscos ocupacionais  
(Gerenciamento)**

**I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento  
de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.**

"O conhecimento científico progride por eliminação de erros,  
mas não por acrescentar verdades".

Edgar Morin

## AGRADECIMENTOS

À Fundacentro, onde tive a oportunidade de tomar consciência da complexidade do mundo do trabalho, e que possibilitou a realização deste estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Médici de Eston pela confiança e liberdade de ação nesta dissertação.

Ao Dorival Barreiros sou especialmente grato pela co-orientação nesta atividade e apoio incondicional, auxiliando nas dificuldades em cada etapa dessa trajetória.

Ao Dr. Wilson Siguemasa Iramina pelas críticas e sugestões fornecidas na Banca do Exame de Qualificação.

Aos companheiros do meu dia-a-dia de trabalho agradeço ao Rogério Galvão da Silva, Leônidas Ramos Pandaggis, Cristiane Queiroz Barbeiro Lima e José Damásio de Aquino.

À Norma Conceição do Amaral e à Ana Maria Tibiriçá Bon pela colaboração nas análises gravimétricas e na quantificação de sílica por difração de raios-X.

Aos colegas da Fundacentro pelas contribuições concedidas, cada um ao seu modo, agradeço ao Eduardo Giampaoli, Eduardo Algranti, Francisco Kulcsar Neto, Nilce A. Honrado Pastorello, Guillermo Perez Dias e Marco Antônio Bussacos.

À empresa de mineração que permitiu o acesso à área produtiva viabilizando o trabalho de campo na coleta das amostras de poeira.

À geóloga Gláucia Cuchierato pela gentileza de atualizar e ceder cópia do mapa da localização das pedreiras na RMSP.

À Maria Cristina Martinez Bonésio pela ajuda na revisão bibliográfica.

À minha esposa Madalena pelo apoio integral e por amenizar os momentos de angústia, e às minhas filhas Brenda e Maisa pela compreensão e paciência nas horas que eu estava ausente.

## RESUMO

As empresas produtoras de pedra britada têm uma atribuição fundamental para o desenvolvimento socioeconômico da população que é a produção de material básico para construção civil. A pedra britada está entre as cinco primeiras substâncias minerais com maior valor de produção, e mesmo assim, os dados de consumo *per capita* indicam que no país existe uma demanda latente de agregados para construção civil, representada por um alto índice de falta de moradias e por uma infra-estrutura sanitária deficiente. A crescente demanda da produção de bens minerais associada à falta de controle dos riscos ocupacionais, acentuam os problemas de saúde e segurança do trabalho na mineração.

A presente dissertação aborda a avaliação da concentração de poeira contendo sílica cristalina no ambiente de trabalho em uma empresa de mineração a céu aberto produtora de brita na região metropolitana de São Paulo. Com o objetivo de estimar os riscos da exposição ocupacional à poeira de sílica cristalina foram obtidas doze amostras de poeira na fração respirável em cinco atividades realizadas na lavra de brita. As amostras de poeira respirável foram coletadas junto aos trabalhadores, utilizando-se bombas de amostragem de uso individual, ciclone Dorr-Oliver e filtros de membrana de PVC. O método analítico adotado para quantificação da sílica cristalina utilizou a técnica de espectrometria de difração de raios X.

Os resultados obtidos nos processos de perfuração e britagem indicaram que os riscos de exposição à poeira são inaceitáveis. Mesmo em condições ambientais apresentando chuviscos ocasionais, a perfuratriz provida de sistema de umidificação proporcionou concentrações de poeira respirável acima dos limites de exposição. Na atividade de movimentação de rochas os resultados apresentaram riscos aceitáveis de exposição para o operador da pá carregadeira devido à cabina dispor de sistema de ar condicionado, isolando o trabalhador do meio externo.

## ABSTRACT

The crushed stone companies have a fundamental attribution for the economic development and well-being of the population that is the production of basic material for civil construction. The crushed stone is between the five first mineral substances with larger production value, and even so, the consumption data *per capita* indicate that in the country exists a latent demand of aggregate for civil construction, represented by a high index of dwellings lack and for a deficient sanitary infrastructure. The increasing demand of the production of mineral goods associate to the lack of the risk control, accentuate the occupational safety and health problems in the mining activity.

The dissertation presents the evaluations of dust concentration contend crystalline silica in the working environment in a quarry in São Paulo's metropolitan area. With the purpose of risks assessment estimation of the occupational exposure to crystalline silica were obtained twelve dust samples in the respirable mass fraction in five activities accomplished in the mining process of crushes. The respirable dust samples were collected close to the workers, using personal samplers pump, Dorr-Oliver cyclone and PVC membrane filters. The analytic method adopted for quantification of crystalline silica used X-ray diffraction spectrometry.

The results obtained in the drilling and crushing processes indicated that the exposure risks to the dust are unacceptable. Even in environmental terms happening occasional fine drizzle, the drill resulted from wet system provided concentrations of respirable dust above the exposure level. In the rocks transport activity the results revealed acceptable risks of exposure for the operator of the shovel due to the cabin have air conditioner system, isolating the worker of the external area.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS .....	vi
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>3</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Lavra e tratamento .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.1 Perfil industrial das pedreiras.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2 Processo de trabalho .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Conceitos de saúde e segurança do trabalho.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.1 Aspectos da legislação .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2 Gerenciamento de riscos .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.2.1 Perigo .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.2.2 Risco.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.3 Sílica e silicose .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.3.1 Sílica .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.3.2. Silicose.....</b>	<b>45</b>
<b>4 INSTRUMENTAÇÃO PARA COLETA DE POEIRA.....</b>	<b>48</b>

4.1	Bomba de amostragem.....	48
4.2	Dispositivo amostrador.....	48
4.3	Porta-filtro e filtro.....	51
4.4	Análises laboratoriais .....	53
5	<b>METODOLOGIA E AMOSTRAGEM.....</b>	<b>55</b>
5.1	Método .....	55
5.2	Materiais.....	58
5.3	Coleta de amostras.....	60
5.4	Estratégia de amostragem .....	62
5.5	Tomada de decisão .....	67
	5.5.1 Análise estatística .....	67
	5.5.2 Julgamento profissional.....	68
6	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
6.1	Resultados obtidos .....	69
6.2	Discussão dos resultados .....	71
7	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>75</b>
7.1	Riscos da exposição.....	75
7.2	Considerações sobre as medidas de controle .....	76
7.3	Alternativas para melhoria das condições de trabalho .....	80
	<b>ANEXOS</b>	
	Anexo A - Folha de campo .....	82
	Anexo B - Resultado das análises laboratoriais .....	83
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>85</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização das pedreiras na Região Metropolitana de São Paulo.	9
Figura 2- Vista da frente de lavra e bancadas .....	14
Figura 3- Carreta de perfuração hidráulica provida de sistema de ventilação local exaustora .....	14
Figura 4- Perfuração secundária realizada por marteleiro operando perfuratriz manual .....	15
Figura 5- Carregamento e transporte de rochas .....	16
Figura 6- Alimentação do britador por caminhões .....	16
Figura 7- Vista frontal do britador de mandíbulas .....	17
Figura 8- Vista superior do britador primário com pinça hidráulica em operação .....	18
Figura 9- Correia transportadora do britador .....	18
Figura 10- Programa de gerenciamento de riscos da Canadian Standards Association (1997),CSA – Q850 .....	35
Figura 11- Tomada de decisão CSA-Q850 (1997) .....	35
Figura 12- Esboço geológico simplificado da Região Metropolitana de São Paulo...	44
Figura 13- Conjunto amostrador para partículas respiráveis composto pelo ciclone de náilon Dorr-Oliver e porta-filtro .....	49

Figura 14- Conjunto de porta-filtro de três peças de poliestireno desmontado .....	50
Figura 15- Sistema de medição da perda de carga no porta-filtro com manômetro de coluna inclinada.....	52
Figura 16- Balança analítica de precisão .....	57
Figura 17- Difratorômetro de raios-X. ....	57
Figura 18- Sistema de calibração da vazão da bomba de amostragem .....	59
Figura 19- Termohigrômetro .....	59
Figura 20- Termoanemômetro Anemotherm .....	60
Figura 21- Conjunto amostrador posicionado na zona respiratória do operador do britador.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acidentes de trabalho, óbitos, mortalidade e letalidade na atividade de extração de pedra, areia e argila, no Brasil no ano 2000 .....	10
Tabela 2 - Quantidade de acidentes de trabalho registrado, por motivo, na atividade de extração de pedra, areia e argila, nos anos 1999, 2000 e 2001 no Brasil. ....	11
Tabela 3 - Variação da porcentagem de SiO <sub>2</sub> admissível por concentração máxima permitida (CMP) em milhões de partículas por pé cúbico (mpppc).. .....	28
Tabela 4 - Diâmetro aerodinâmico da partícula e a porcentagem de passagem pelo seletor .....	50
Tabela 5 - Diâmetro aerodinâmico da partícula e a fração de massa de material particulado respirável. ....	51
Tabela 6 - O tamanho da amostra parcial necessária com 90% de confiança em selecionar um trabalhador que esteja no subgrupo dos 10% mais expostos.....	66
Tabela 7 - Dados das amostragens, massa e porcentagem de quartzo na poeira... ..	69
Tabela 8 - Tabela comparativa entre o valor da concentração de poeira com o Limite de Tolerância, Nível de Ação e o Risco .....	70
Tabela 9 - Tabela comparativa entre o valor da concentração de quartzo com o TLV e o Risco .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACGIH</b>	American Conference of Governmental Industrial Hygienist
<b>AIHA</b>	American Industrial Hygiene Association
<b>BMRC</b>	British Medical Research Council
<b>CEN</b>	Comité Européen de Normalisation
<b>CIPAMIN</b>	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração
<b>CSA</b>	Canadian Standards Association
<b>DNPM</b>	Departamento Nacional da Produção Mineral
<b>EPI</b>	Equipamento de Proteção Individual
<b>FR</b>	Fator de Redução de Brief e Scala
<b>GHE</b>	Grupo Homogêneo de Exposição
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>LMGD</b>	Laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de Raios-X
<b>LT</b>	Limite de Tolerância
<b>MPAS</b>	Ministério da Previdência e Assistência Social
<b>MTE</b>	Ministério do Trabalho e Emprego
<b>NIOSH</b>	National Institute of Occupational Safety and Health

<b>NR</b>	Norma Regulamentadora
<b>OSHA</b>	Occupational Safety and Health Administration
<b>PCMSO</b>	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
<b>PGR</b>	Programa de Gerenciamento de Riscos
<b>PPRA</b>	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
<b>RMSP</b>	Região Metropolitana de São Paulo
<b>SST</b>	Saúde e Segurança no Trabalho
<b>TLV</b>	Threshold Limit Value

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{m}$	micrometro
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	micrograma por metro cúbico
$\text{mg}/\text{m}^3$	miligrama por metro cúbico
t	tonelada
$\text{m}^3$	metro cúbico
$\text{g}/\text{m}^3$	grama por metro cúbico
mppdc	milhões de partículas por decímetro cúbico
mpppc	milhões de partículas por pé cúbico
C	concentração
$\text{g}/\text{kg}$	grama por quilograma
$\text{m}^2$	metro quadrado
mm	milímetro
L/min	litro por minuto
Pa	pressão pascal
mmH <sub>2</sub> O	milímetro de água
°C	temperatura Celsius
mg	miligrama
h	hora
min	minuto
m/s	metro por segundo

# 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por bens minerais e a conseqüente intensificação dos meios de produção impõem à indústria extrativa mineral, a necessidade de disponibilizarem recursos cada vez maiores para atenderem ao crescimento demográfico e aos anseios da sociedade por uma qualidade de vida melhor. Entretanto, muitos processos produtivos empregados pela mineração ainda incluem métodos, operações e materiais que podem dar origem a lesões à integridade física, efeitos adversos à saúde, danos ao meio ambiente, ou uma combinação destes.

O ramo das empresas produtoras de agregados para construção civil foi eleito para realizar o presente estudo, porque além dessa atividade ser muito importante para o desenvolvimento socioeconômico da população é também relevante no aspecto da saúde e segurança do trabalho em razão dos riscos presentes nas operações de desmonte e cominuição da rocha.

A mecanização e a crescente demanda da produção, aliado à falta de controle dos riscos, exacerbam os problemas de saúde e segurança do trabalho na mineração. No processo produtivo das pedreiras de brita, um dos problemas mais freqüentes e graves encontrados é a geração, a emissão e a dispersão de material particulado na atmosfera. A geração de poeira é decorrente dos processos de desmonte, cominuição e transporte.

Coelho (2001) descreve que, embora essa atividade industrial tenha uma atribuição fundamental que é a produção de material básico para a construção civil, a população em geral não a identifica como fonte de matéria prima essencial, mas como uma perturbação a ser suprimida, principalmente quando as jazidas se encontram em áreas urbanas. Geralmente as pedreiras são percebidas isoladamente como uma fonte de poeira, de ruído e de vibração, além da poluição visual.

As poeiras respiráveis, com diâmetro menor que 10  $\mu\text{m}$ , têm importância fundamental para a saúde e segurança no trabalho. A inalação destas poeiras contendo sílica pode produzir doenças pulmonares conhecidas por silicose.

Não obstante, a industrialização e o desenvolvimento não precisam estar necessariamente associados com perdas e prejuízos para a saúde e segurança dos trabalhadores, nem tampouco com a poluição do meio ambiente. Os riscos presentes em tais atividades podem e devem ser gerenciados a fim de se controlar e reduzir os danos e as conseqüências. O processo empregado para organizar e detalhar essas atividades no ambiente de trabalho, de forma a ajustar o desenvolvimento da empresa com a saúde e segurança dos trabalhadores, é o que denominamos de Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR).

O propósito do programa de gerenciamento de riscos é identificar os perigos, analisar e avaliar os riscos a fim de auxiliar na tomada de decisão para controlar os riscos presentes na organização. Assim, o objetivo do programa do gerenciamento de riscos é assegurar que os riscos potenciais sejam identificados e que ações apropriadas sejam tomadas para reduzir estes riscos, o quanto for tecnicamente factível. Estas ações se baseiam no balanceamento de estratégias para o controle dos riscos, sua eficiência e custo, e das necessidades e interesses das partes interessadas.

Cabe ao empregador a responsabilidade pela saúde e segurança dos trabalhadores. As empresas são obrigadas por lei, conforme estabelece a Norma Regulamentadora NR-9, reformulada pela Portaria nº 25 de 29 de dezembro de 1994, a executarem a avaliação de riscos nos ambientes de trabalho (Saliba; Saliba, 2002). A finalidade de se efetuar a avaliação de riscos é permitir ao empregador tomar as medidas adequadas para assegurar a segurança e a proteção à saúde dos trabalhadores. Neste processo, a avaliação de riscos compreende a qualificação e quantificação da exposição a agentes químicos, físicos e biológicos, e à comparação com um padrão estabelecido. São propósitos principais determinar se os controles, isto é, as medidas para neutralização, minimização ou eliminação das situações de exposição ao risco à saúde estão adequadas, de tal forma que estes riscos identificados sejam controlados antes que uma lesão ou dano possa ocorrer.

Pelas próprias características das pedreiras que movimentam alguns milhares de toneladas de rochas por dia, as fontes de poeiras estão presentes praticamente em todas as operações. Este estudo pretende conhecer o risco de exposição à sílica e se

as medidas de controle empregadas estão protegendo os trabalhadores, uma vez que a exposição à poeira não é eventual e sim contínua e constante.

## **1.1 Estrutura do trabalho**

Após a apresentação do tema sobre o estudo, neste primeiro capítulo, estruturou-se o texto em sete capítulos da seguinte forma:

O capítulo 2 propõe os objetivos do trabalho.

O capítulo 3 sintetiza três trabalhos realizados em pedreiras na RMSP, apresenta os dados sobre o perfil industrial deste ramo de atividade econômico, destaca e discute alguns aspectos da legislação pertinentes ao gerenciamento de riscos assim como apresenta uma norma canadense, e discute alguns conceitos utilizados sobre saúde e segurança do trabalho.

Os instrumentos utilizados para coleta de poeira na pedreira estão descritos no capítulo 4.

O capítulo 5 expõe a metodologia aplicada neste estudo e a estratégia de amostragem utilizada para a coleta de poeira contendo sílica cristalina na fração respirável.

Os dados de concentração de poeira obtidos nas operações avaliadas são discutidos e analisados no capítulo 6.

Finalmente, o capítulo 7 apresenta as principais conclusões sobre os riscos da exposição à poeira contendo sílica respirável encontrados durante o processo produtivo de obtenção de brita, bem como, expõe algumas considerações sobre as medidas de controle utilizadas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a concentração de poeira no ambiente de trabalho em uma empresa de mineração produtora de agregados para construção civil.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Estimar os riscos da exposição ocupacional à poeira respirável contendo sílica cristalina em algumas operações da pedreira.
- b) Verificar o adequado funcionamento das medidas de controle adotadas pela empresa no gerenciamento do risco de exposição a poeiras.
- c) Sugerir medidas complementares para o controle dos riscos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apesar de diferentes estudos terem sido realizados nas empresas produtoras de agregados para construção civil na região metropolitana de São Paulo (RMSP), identifica-se a necessidade de outras abordagens a fim de que informações mais consistentes possam auxiliar no desenvolvimento do PGR.

Barreiros; Passos (1984), por exemplo, identificaram e analisaram cada uma das operações que compõem a lavra e os principais riscos de acidentes de trabalho existentes a fim de proporem medidas de controle para eliminarem ou reduzirem os riscos levantados. Os dados do trabalho foram coletados em 15 empresas, de um total de 33 em atividade na RMSP, que empregam diretamente mais de 3.000 pessoas. No entanto, o trabalho ficou parcialmente prejudicado pelas restrições impostas por determinadas empresas quanto ao estudo detalhado das operações de perfuração da rocha, desmonte com explosivos, carregamento e transporte. A inexistência de dados estatísticos oficiais sobre acidentes do trabalho na atividade industrial das pedreiras e a dificuldade de obtê-los junto às próprias empresas constituíram outro empecilho que levaram os autores a fazerem um estudo mais genérico.

Apesar dos riscos existentes nas atividades das pedreiras, nem sempre serem comuns a todas as empresas, devido às peculiaridades de cada uma delas como a topografia da jazida, tipo de acesso, altura das bancadas, nível de produção e planejamento, equipamentos utilizados, o texto aborda diversas recomendações de segurança do trabalho concernentes às operações de lavra.

Mesmo tendo o texto sido elaborado na década de 80, nesta ocasião já era tema de discussão a conscientização da importância de se manter programas de segurança, visando a mitigação dos riscos à saúde e segurança do trabalho.

Freitas et al. (1998) avaliaram ambientes de trabalho em três pedreiras situadas na zona norte da RMSP. Este projeto, desenvolvido pelo Centro de Referência em Saúde do Trabalhador da Freguesia do Ó, iniciou-se em uma empresa onde ocorreu um acidente fatal devido ao desprendimento de rochas da bancada.

Posteriormente, em conjunto com o Ministério Público do Estado de São Paulo, o trabalho foi estendido para mais duas pedreiras.

Os autores realizaram avaliações ambientais preliminares a fim de treinarem as equipes nos trabalhos de campo para coleta de aerodispersóides e ao mesmo tempo verificarem as concentrações de poeira de sílica. Os resultados mostraram que as concentrações de poeira de sílica cristalina estavam acima do limite de tolerância estabelecido na legislação para os operadores da perfuratriz e martetele pneumático.

Os autores também constataram dois casos de silicose, além de vários trabalhadores com perdas auditivas induzidas pelo ruído.

Uma das conclusões do estudo, foi que o melhor método para perfuração da rocha seria através de equipamentos com coletores de poeira em vez de perfuratrizes umidificadas, cujo processo forma uma massa pastosa no ponto que está sendo perfurado, aumentando o tempo de perfuração e o desgaste do equipamento.

Almeida (1999) pesquisou a poluição atmosférica por material particulado em duas minerações de grande e pequeno porte, em um ambiente urbano, determinando a concentração de partículas totais em suspensão e à sua compatibilização com a legislação ambiental, à distribuição granulométrica e à composição química do material particulado.

Uma pedreira de granito escolhida na RMSP foi a mineração de pequeno porte, onde se constatou concentrações da ordem de  $462,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de material particulado total em suspensão, no ar ambiental, para um padrão primário diário de  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Porém, das 42 amostras de material particulado em suspensão coletadas, 16,7% destas amostras válidas ultrapassaram o padrão primário diário ( $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Quanto à composição química do material particulado em suspensão na pedreira estudada, foram identificados teores médios de 61% de quartzo. Uma análise semi-quantitativa revelou teores de 69,4% de quartzo para o granito obtido com o uso de uma perfuratriz diretamente da rocha fresca.

A presente dissertação foi em parte motivada pela alusão sugerida por Almeida em suas conclusões, da necessidade de estudos quantitativos de material

particulado na fração respirável, associando-se a presença de substâncias prejudiciais à saúde.

Em face à complexidade que envolve a avaliação dos riscos de exposição à poeira contendo sílica cristalina, reforça-se a necessidade de se elaborar estudos sobre o tema, e acredita-se que a contribuição deste trabalho para a mineração seja oportuna.

### **3.1 Lavra e tratamento**

#### **3.1.1 Perfil industrial das pedreiras**

O Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) é o órgão governamental normativo do Ministério de Minas e Energia responsável pela implantação da política mineral, bem como pela preparação dos mapas geológicos básicos, cuja execução está a cargo da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM.

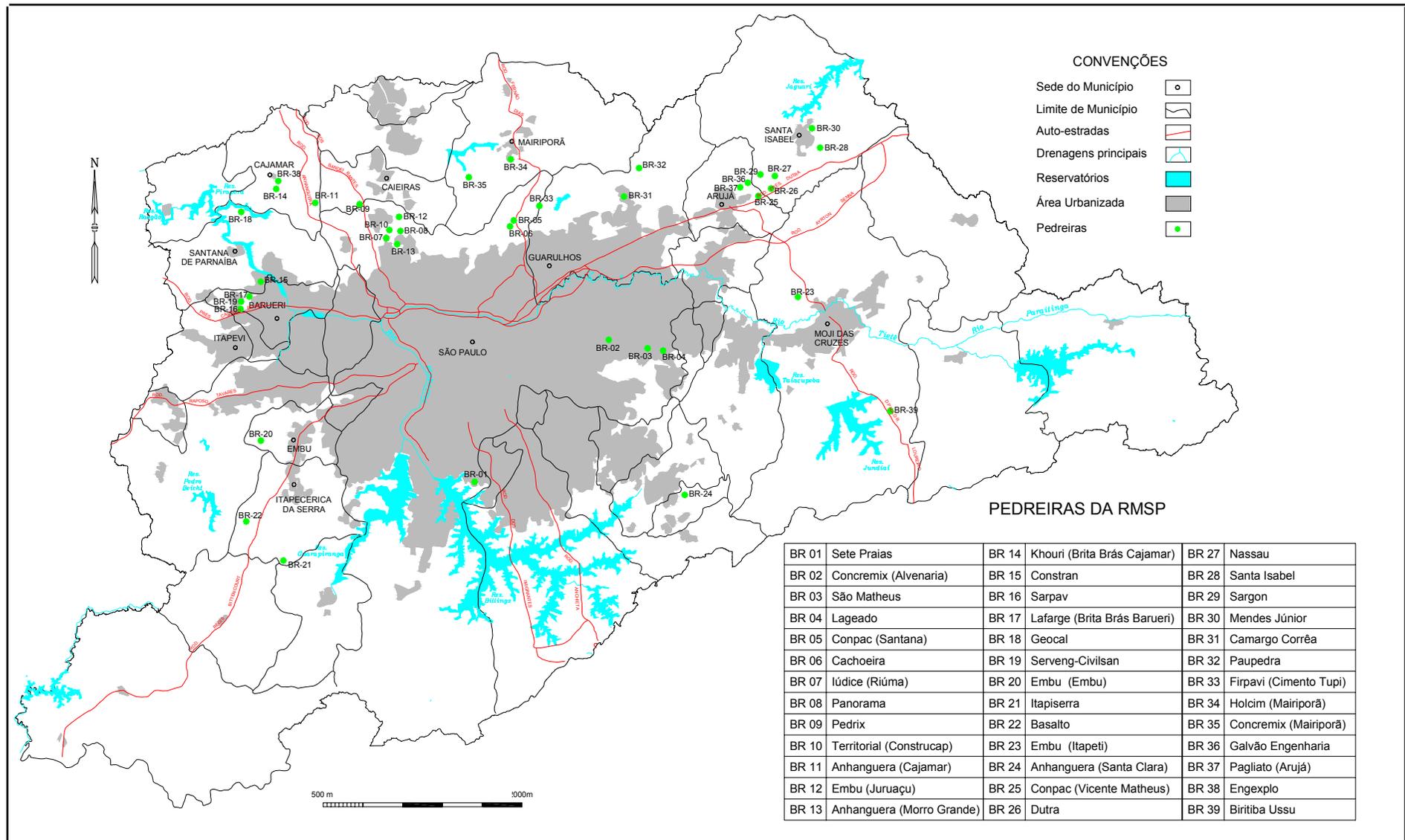
A Diretoria de Desenvolvimento Mineral e Relações Institucionais do DNPM selecionou 1.862 minas às quais foram classificadas em pequenas, médias e grandes, com base em informações contidas nos Relatórios Anuais de Lavra, ano-base 2000 apresentados ao DNPM, pelas empresas de mineração (Brasil, 2000a). O critério adotado considerou apenas minas com produção bruta "*run of mine*" igual ou superior a 10.000 t/ano, não sendo consideradas as produções de petróleo, gás natural e água mineral.

Dentre este universo de 1.862 minas, a região sudeste conta com um total de 1.028 minas, e representa a região com a maior concentração de minas (55,2%), em que o Estado de São Paulo destaca-se com o maior número, 537 minas; seguido pelo Estado de Minas Gerais, 307 minas; Rio de Janeiro 153 minas e o Espírito Santo, 31 minas.

Considerando a distribuição das minas por substância mineral, verifica-se que 428 minas do universo de 1.862, ou seja, 23,0% correspondem às de pedras britadas.

Segundo a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (1999), o Estado de São Paulo participa com 181 áreas de exploração mineral de brita.

Na RMSP as empresas em atividade compreendem um conjunto de 39 pedreiras, que podem ser visualizadas na figura 1.



Fonte: Cuchierato (2000), atualizado pela autora em 2003.

Figura 1 – Mapa de Localização das Pedreiras na Região Metropolitana de São Paulo

Dados estatísticos divulgados pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), registraram os seguintes índices de acidentes do trabalho em 2000, para as atividades de extração de pedra, areia e argila, constantes na tabela 1, segundo a Classificação Nacional de Atividade Econômica - CNAE 14.10-9 - extração de pedra, areia e argila (Brasil, 2000b).

**Tabela 1** - Acidentes de trabalho, óbitos, mortalidade e letalidade na atividade de extração de pedra, areia e argila, no Brasil no ano 2000.

Emprego (E)	Acidentes (A)	Incidência (A/E x 100)	Óbitos (O)	Mortalidade (O/E x 100.000)	Letalidade (O/A x 1.000)
42.472	884	2,08	14	32,96	15,84

Fonte: Brasil (2000b).

O parâmetro básico escolhido pelo MTE para formulação dos indicadores foi o Emprego, cujo número representa a quantidade de postos de trabalho ocupados num determinado momento da apuração e exclui a rotatividade.

Os dados de Acidentes de Trabalho são provenientes do Ministério da Previdência e Assistência Social e referem-se ao conceito estabelecido na Lei nº 8.213 de 24 de julho de 1991 e no Decreto nº 3.048 de 6 de maio de 1999 (Saliba; Saliba, 2002), o qual define acidente do trabalho como: "aquele que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados especiais, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho". A Lei ainda equipara ao acidente do trabalho, para fins previdenciários, "a doença profissional, assim entendida à produzida ou desencadeada pelo exercício do trabalho, peculiar a determinada atividade, e constante da relação elaborada pelo Ministério da Previdência e Assistência Social e à doença do trabalho, assim entendida à adquirida ou desencadeada em função de condições especiais em que o trabalho é realizado".

A taxa de Incidência é um indicador que pode ser utilizado em substituição ao índice de frequência, e é determinada, dividindo-se o número total de Acidentes de Trabalho registrados pelo Emprego, multiplicando-se por 100.

Óbito é a consequência de acidente fatal.

A taxa de Mortalidade representa o indicador de um trabalhador que venha sofrer um acidente fatal, e é calculada, dividindo-se o número de Óbitos decorrentes de acidentes do trabalho pelo Emprego e multiplicando-se por 100.000.

A taxa de Letalidade representa o indicador de que um acidente de trabalho seja fatal, e é calculada, dividindo-se o número total de Óbitos decorrentes de acidentes de trabalho pelo total de Acidentes de Trabalho liquidados<sup>1</sup> e multiplicando-se por 1.000.

A tabela 2 apresenta os dados de acidentes do trabalho divulgados pelo Ministério da Previdência e Assistência Social (MPAS), Ministério do Trabalho e Emprego e da Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social (DATAPREV), sendo que Acidente Típico é o acidente decorrente da característica da atividade profissional desempenhada pelo acidentado, e Acidente de Trajeto é o acidente ocorrido entre a residência e o local de trabalho e vice-versa. Na coluna Doenças, os dados sobre os tipos de doenças não estão disponibilizados para o público em geral. Portanto não é possível reconhecer, do total de doenças registradas, quantas são devidas à exposição à sílica cristalina.

**Tabela 2** - Quantidade de acidentes de trabalho registrado, por motivo, na atividade de extração de pedra, areia e argila, nos anos 1999, 2000 e 2001 no Brasil.

Total			Motivo								
			Típico			Trajeto			Doenças		
1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
1.082	944	976	952	853	886	46	52	59	84	39	31

Fonte: Brasil (2001).

<sup>1</sup> Acidentes do trabalho liquidados correspondem ao número de acidentes cujos processos foram encerrados administrativamente pelo Instituto Nacional do Seguro Social após a identificação da consequência do acidente que pode ser categorizada em simples assistência médica; incapacidade temporária menor ou maior do que 15 dias; incapacidade permanente ou óbito.

Nas tabelas 1 e 2 apresentadas anteriormente, observa-se que o total de acidentes informados no ano 2000 não são iguais. Uma das razões que podem justificar essa discrepância entre os números de acidentes é que o MTE utilizou os dados disponíveis para fazer o estudo em um determinado momento e não os atualizou. Os dados oficiais sobre acidentes do trabalho são os divulgados pelo MPAS e são atualizados periodicamente.

Há diversos indicadores com o objetivo de medir o risco entre diferentes setores de atividade econômica. Os índices de acidentes do trabalho proporcionam uma forma para avaliar a atuação da saúde e segurança no trabalho (SST) ao longo do tempo, e permitem comparar os dados obtidos com dados estatísticos de acidentes e doenças divulgados por outras fontes. É importante observar, se a metodologia de cálculo adotada para cada um dos indicadores foi a mesma. Todavia, menores índices de acidentes ou doenças do trabalho não significam uma condição de maior segurança do sistema ou processo, ou que a prevenção dos riscos da empresa é melhor, porque os índices expressam os acidentes ocorridos. Somente porque um acidente nunca ocorreu não significa que não possa ocorrer.

O número total de trabalhadores com vínculo empregatício (mão-de-obra direta), declarados nos Relatórios Anuais de Lavra no ano 2000, referentes as 1.862 minas foi de 53.238 empregados, sendo que 18,8% (10.008 trabalhadores), estão empregados no setor de pedras britadas (Brasil, 2000a).

Tepordei (1999) apud Coelho (2001) relatou que a produção de agregados naturais está diretamente relacionada com a população e o nível de desenvolvimento industrial de uma região. Por exemplo, em 1996, o consumo de agregados *per capita* nos Estados Unidos da América foi de 8,7 t, enquanto no Brasil em 2000 foi de 2,2 t.

Segundo Coelho (2001), o consumo de brita na RMSP cresceu de 11,8 milhões de metros cúbicos em 1994 para 17,7 milhões de metros cúbicos em 2000, o que representou um aumento de 50% em sete anos.

Conforme Brasil (2002b), em 2001 foram produzidos 399,0 milhões de toneladas de agregados para construção civil, representando um crescimento de 4,6% em relação a 2000. Deste total, 162,8 milhões de toneladas são representadas por

pedras britadas e 236,1 milhões de toneladas de areia; sendo que o Estado de São Paulo respondeu por 33,2% da produção nacional<sup>2</sup>.

A segmentação do mercado consumidor brasileiro para brita, em 2001, indicou que 70% da produção foi destinada à mistura com cimento e 30% com asfalto betuminoso. Dentre os 70% integrados ao cimento, o concreto participa com 35%, pré-fabricados com 15%, revenda em lojas de construção e depósitos com 10% e outros segmentos como cascalhamento, enrocamento, gabiões, lastro de ferrovia e contenção de taludes, respondem pelos 10% restantes. Com um consumo em 2001 de 26,9 milhões de toneladas, a RMSP é o maior mercado consumidor de pedra britada do país (Brasil, 2002b).

Segundo Brasil (2000a), a pedra britada está entre as cinco primeiras substâncias com maior valor de produção, que são petróleo, ferro, gás natural, pedras britadas e ouro, e que respondem a 82,1% da produção mineral brasileira durante o ano 2000. Excluindo o petróleo e o gás natural, as pedras britadas contribuem com 11% do valor da produção mineral brasileira em 2000.

Mesmo que a brita ocupe uma posição de destaque em termos de valor de produção, os dados de consumo demonstram que no país existe uma demanda latente de agregados, representada por um alto índice de falta de moradias, por uma infraestrutura sanitária deficiente, pelo colapso das rodovias, que tem sido agravado pelo acelerado crescimento urbano, como é o caso da RMSP, região mais desenvolvida no país.

### **3.1.2 Processo de trabalho**

As pedreiras visam o aproveitamento econômico de certos maciços rochosos, por meio de desmonte de rochas e posterior beneficiamento, obtendo-se brita dentro de padrões granulométricos comercializáveis. Em função das características geológicas das jazidas minerais e da topografia local, a lavra da brita é realizada a céu aberto pelo método de lavra por bancadas em meia encosta. A figura 2 apresenta uma vista parcial da lavra por bancada.

---

<sup>2</sup> Para conversão de m<sup>3</sup> em t de brita pode-se utilizar o valor da densidade aparente média de 1,6 g/cm<sup>3</sup> (Fábrica de Aço Paulista, 1994). In situ depende da densidade da rocha.



Figura 2- Vista da frente de lavra e bancadas.

As principais etapas do processo produtivo para obtenção da brita consistem nas operações de perfuração; desmonte; carregamento e transporte; britagem e classificação.

A perfuração é a operação que visa preparar a rocha para que o explosivo possa ser acondicionado em seu interior. Para a perfuração da rocha são utilizadas carretas de perfuração pneumáticas, montadas sobre esteiras com sistema próprio de locomoção. A energia para o funcionamento é fornecida pelo compressor de ar.



Figura 3- Carreta de perfuração hidráulica provida de sistema de ventilação local exaustora.

Na figura 3 podemos observar uma perfuratriz em operação, dotada de sistema de ventilação local exaustora, como medida de controle de engenharia para redução da emissão de poeira.

Os furos nas rochas seguem um plano de fogo, em que são estabelecidos os afastamentos e os espaçamentos entre os furos, assim como a profundidade e a inclinação.

O desmonte da rocha é realizado através de cargas explosivas introduzidas nos furos. A lavra é executada em bancadas no sentido descendente, com 15 m de altura aproximadamente.

O processo de desmonte por explosivos produz blocos de tamanhos variados, sendo que os blocos maiores, ou matacos, são submetidos à detonação secundária. A finalidade desta segunda detonação, ou fogacho, é reduzir as dimensões dos matacos de forma a serem compatíveis com a capacidade de alimentação do britador primário. Os blocos maiores são então novamente perfurados, utilizando-se marteletes pneumáticos operados manualmente conforme mostra a figura 4.



Figura 4- Perfuração secundária realizada por marteleteiro operando perfuratriz manual.

O carregamento e transporte das rochas proveniente do desmonte são realizadas por meio de pá carregadeira, conforme exibido na figura 5, e transportadas

por meio de caminhões caçamba até a alimentação do britador primário, representado na figura 6.



Figura 5- Carregamento e transporte de rochas.

A britagem consiste na operação de redução do tamanho dos blocos, sendo que o equipamento utilizado para esta operação é o britador de mandíbulas, em que a rocha é descarregada numa câmara em forma de cunha entre uma chapa fixa e outra móvel.



Figura 6- Alimentação do britador por caminhões.

A britagem é uma operação contínua, com as mandíbulas gerando tamanhos adequados na passagem por entre as chapas. A figura 7 apresenta um britador de mandíbulas sendo o material fragmentado transferido para correias transportadoras abertas e lançado nas pilhas de estocagem ao ar livre (figura 9). Depois de realizada a britagem, os materiais são classificados por tamanho sendo os maiores reprocessados em britadores secundários e terciários, até se obter os produtos com a granulometria desejada.



Figura 7- Vista frontal do britador de mandíbulas.

O britador é o "ponto de estrangulamento" da empresa. Quando esta operação falha deixa-se de produzir a brita. Embora os matacos sejam submetidos a uma segunda perfuração para redução do tamanho, é comum ocorrer a obstrução da câmara do britador impedindo a britagem, e conseqüentemente o transporte de material que antecede e sucede esta operação também fica prejudicado.

A desobstrução do britador é realizada por meio de pinça hidráulica, conforme mostra a figura 8, ou manualmente com auxílio de cunhas metálicas atadas a um cabo.

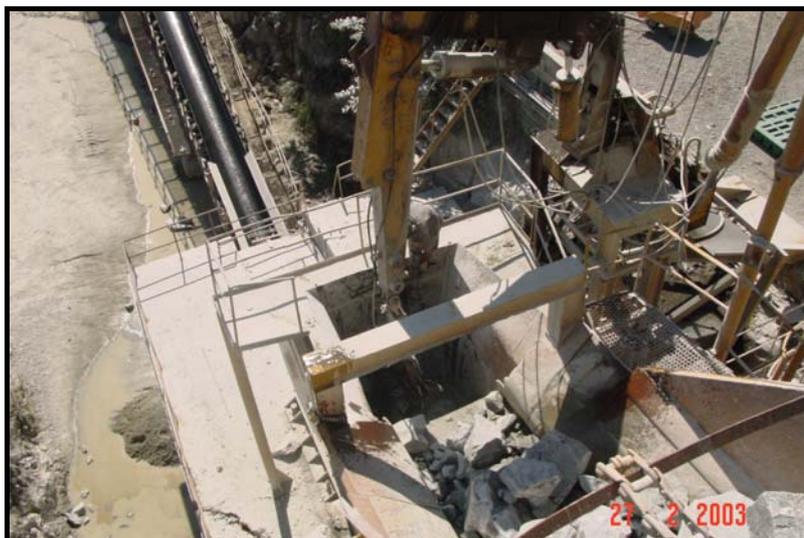


Figura 8- Vista superior do britador primário com a pinça hidráulica em operação.

Finalmente o material produzido é expedido a granel e transportado via caminhão diretamente para o consumidor.

As operações consideradas para estimativa dos riscos de exposição à poeira respirável de sílica foram: perfuração primária, perfuração secundária, transporte e movimentação de rochas e britagem primária. Ainda que os trabalhos de manutenção mecânica e elétrica, geração e distribuição de ar comprimido e drenagem sejam essenciais à lavra, no âmbito deste trabalho, os riscos da exposição à poeira destas operações não foram avaliados.



Figura 9- Correia transportadora do britador.

## **3.2 Conceitos de saúde e segurança do trabalho**

### **3.2.1 Aspectos da legislação**

Na esfera da Constituição da República Federativa do Brasil, conforme Brasil (1988), destaca-se no Capítulo II Dos Direitos Sociais, o Artigo 7º "São direitos dos trabalhadores urbanos e rurais, além de outros que visem à melhoria de sua condição social:

...XXII - redução dos riscos inerentes ao trabalho, por meio de normas de saúde, higiene e segurança;..."

Por sua vez, a Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977, que regulamenta o inciso XXII do Artigo 7º da Constituição Federal e, dentre outros, dispõe no Artigo 200 (Saliba; Saliba, 2002), que cabe ao Ministério do Trabalho estabelecer disposições complementares às normas de que trata o Capítulo V, tendo em vista às peculiaridades de cada atividade ou setor de trabalho.

Assim, a Portaria nº 3.214 do Ministério do Trabalho, de 8 de junho de 1978, (Saliba; Saliba, 2002), instrui tecnicamente o Capítulo V, Título II da Consolidação das Leis Trabalhistas, que hoje se compõe de trinta Normas Regulamentadoras (NR), cabendo ressaltar quatro delas:

NR-6 – Equipamento de Proteção Individual - EPI; NR-7 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional - PCMSO; NR-9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA e a NR-22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração.

A NR-6 considera equipamento de proteção individual - EPI "todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho".

No entanto, ainda de acordo com a NR-6, o seu uso se dará somente nas seguintes circunstâncias:

a) sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais e do trabalho;

- b) enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas; e
- c) para atender situações de emergência.

Fora essas situações o uso de EPI é dispensável.

Porém, no que tange à contaminação ambiental por poeiras, quando as medidas de engenharia não são viáveis, ou enquanto estão sendo implantadas ou avaliadas, devem ser usados respiradores apropriados, em conformidade com os requisitos apresentados no Programa de Proteção Respiratória, de acordo com a Instrução Normativa nº1 de 11 de abril de 1994 do MTE (Torloni, 2002).

O PCMSO da NR-7 é parte integrante do conjunto mais amplo de iniciativas da empresa no campo da saúde dos trabalhadores, devendo estar articulado com o disposto nas demais NR, principalmente com o PPRA da NR-9. O programa tem caráter de prevenção, rastreamento e diagnóstico precoce dos agravos à saúde relacionados ao trabalho. Embora o programa não possua um modelo a ser seguido, nem uma estrutura rígida, alguns aspectos devem contemplar o documento, entre eles, programação anual dos exames clínicos e complementares específicos para os riscos detectados, definindo-se quais trabalhadores ou grupos de trabalhadores, quais são os exames e o momento adequado.

A vigilância epidemiológica constitui-se de um conjunto de procedimentos para detectar precocemente a silicose, mas não para prevenir primariamente. A detecção prematura da silicose, embora importante, não pode ser considerada como um recurso de prevenção primária, pois ao se identificarem os primeiros sinais de alterações nas radiografias, o processo de doença já se manifestou.

As outras duas Normas Regulamentadoras NR-9 e NR-22 estabelecem a obrigatoriedade da elaboração e implementação de programas de gerenciamento de riscos.

A NR-9 estabelece a obrigatoriedade e implementação, por parte de todos os empregadores, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, por meio da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, levando-se em

consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais. Embora essa NR também não estabeleça um modelo, cabe a empresa, estabelecer o modelo mais conveniente à sua realidade. O programa da NR define uma estrutura mínima contendo:

- a) planejamento anual com estabelecimento de metas, prioridades e cronograma;
- b) estratégia e metodologia de ação;
- c) forma do registro, manutenção e divulgação dos dados;
- d) periodicidade e forma de avaliação do desenvolvimento do PPRA.

Dentre as etapas do desenvolvimento do PPRA se incluem:

- a) antecipação e reconhecimento dos riscos;
- b) estabelecimento de prioridades e metas de avaliação e controle;
- c) avaliação dos riscos e da exposição dos trabalhadores;
- d) implantação de medidas de controle e avaliação de sua eficácia;
- e) monitoramento da exposição aos riscos;
- f) registro e divulgação dos dados.

A NR-9 estabelece, entre outros, que a avaliação quantitativa deverá ser realizada sempre que necessária para:

- 1) comprovar o controle da exposição ou a inexistência dos riscos identificados na etapa de reconhecimento;
- 2) dimensionar a exposição dos trabalhadores;
- 3) subsidiar o equacionamento das medidas de controle.

Assim, conforme o apresentado neste texto legal, a realização de avaliações quantitativas não é empregada somente para comprovar a existência de risco, mas passa a ser mais aplicada às ações de implantação de medidas de prevenção.

A NR-9 estabelece ainda que os registros dos dados deverão ser mantidos, pela empresa, por um período mínimo de vinte anos. A manutenção desse histórico vai retratar a evolução da qualidade das condições de exposição. Não apenas os resultados obtidos são registrados, mas também os critérios e as metodologias utilizadas, bem como as alterações organizacionais e técnicas ocorridas, de forma a

permitir que os dados registrados possam ser comparáveis, possibilitando a identificação das causas ou justificativas para as eventuais discrepâncias observadas.

Nas minerações onde os trabalhadores estão expostos à poeira de sílica cristalina, é recomendável que esse tempo de vinte de anos estabelecido na NR seja até maior, uma vez que estes dados poderão ser importantes para dirimir questões médicas sobre a saúde dos trabalhadores, pois os efeitos crônicos causados pela sílica podem se manifestar após décadas de exposição.

A NR-22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração tem por objetivo disciplinar os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho, de forma a tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento da atividade mineira com a busca permanente da segurança e saúde dos trabalhadores.

Esta norma se aplica a:

- a) minerações subterrâneas;
- b) minerações a céu aberto;
- c) garimpos, no que couber;
- d) beneficiamentos minerais e
- e) pesquisa mineral.

Dentre as principais alterações surgidas com a reforma em 22 de dezembro de 1999, essa NR determinou que cabe à empresa ou permissionário de lavra garimpeira elaborar e implementar o PGR, incluindo, entre outros, os relacionados a:

- a) riscos físicos, químicos e biológicos;
- b) atmosferas explosivas;
- c) ventilação;
- d) proteção respiratória;
- e) ergonomia e organização do trabalho;
- f) riscos decorrentes do trabalho em altura, em profundidade e em espaços confinados;
- g) riscos decorrentes da utilização de energia elétrica;
- h) equipamento de proteção individual de uso obrigatório;
- i) plano de emergência;

j) outros resultantes de modificações e introduções de novas tecnologias.

Também a NR-22 contempla as etapas básicas para o desenvolvimento do PGR, que incluem:

- a) antecipação e identificação dos riscos;
- b) avaliação da exposição dos trabalhadores;
- c) estabelecimento de prioridades, metas e cronograma;
- d) acompanhamento das medidas de controle implementadas;
- e) monitorização dos riscos;
- f) registro dos dados e
- g) avaliação periódica do programa.

Além das etapas citadas, o PGR estabelece que as alterações e complementações deverão ser apresentadas e discutidas na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração – CIPAMIN, para acompanhamento das medidas preventivas.

Outro aspecto a destacar nesta NR, relativo à prevenção da silicose, é a determinação de que as operações de perfuração ou corte devem ser realizados por processos umidificados para evitar a dispersão da poeira no ambiente de trabalho. Quanto a estratégia de amostragem, a NR-22 também estabelece um número mínimo de amostras a serem tomadas de um grupo de trabalhadores expostos a poeiras minerais.

A Portaria nº 3.214 do MTE, define Limite de Tolerância (LT) como sendo "a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral" (Brasil, 1978).

Nos Estados Unidos da América, a Occupational Safety and Health Administration (OSHA) é o órgão governamental responsável pelo cumprimento dos limites de tolerância. A OSHA foi criada nos Estados Unidos em 1970, por meio da Lei de Segurança e Saúde Ocupacional, que promulgou em 1971 a sua primeira listagem de Limites de Exposição Permissíveis, baseada na lista de valores dos

limites de exposição propostos pela American Conference of Governmental Industrial Hygienist – (ACGIH)<sup>3</sup> de 1968 (Paustenbach, 1997).

Os limites de exposição (TLV<sup>®</sup>)<sup>4</sup> preconizados pela ACGIH , "referem-se às concentrações das substâncias químicas dispersas no ar e representam condições às quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde", American Conference of Governmental Industrial Hygienist (2003).

A diferença entre a definição técnica da ACGIH para os TLV e a definição legal dos LT, é que a lei não pode fazer distinção entre pessoas, e os LT se aplicam igualmente a todos trabalhadores, devendo garantir que se a exposição ao agente estiver abaixo do LT, não haverá dano à saúde do trabalhador. Por outro lado, a definição técnica não é tão rígida, permitindo que os limites de exposição não sejam aplicados para todos os trabalhadores, devido à variação da suscetibilidade individual, em que uma parcela poderá apresentar até uma determinada doença em concentrações iguais ou inferiores ao TLV.

O Limite de Exposição é um termo genérico que representa a concentração permitida, com base nos efeitos à saúde e no período de tempo para comparação com o limite permitido. Assim, os limites de exposição podem ser expressos em limite de curta duração para 15 minutos; limite teto, cuja concentração não pode ser excedida em nenhum momento da exposição, ou limite média ponderada (que permite que concentrações ultrapassem o limite adotado desde que sejam compensadas por concentrações equivalentes abaixo do limite adotado).

Os limites de exposição podem ser vistos como um referencial na relação entre a exposição e efeito, exposição esta considerada aceitável. Enquanto a relação estimada entre exposição e efeito é um produto do processo de avaliação do risco, o limite desse referencial envolve um julgamento sobre o que é aceitável, passando a ser, então, uma decisão do gerenciamento de riscos.

---

<sup>3</sup> Entidade privada dos Estados Unidos da América, fundada em 1938, com reconhecimento internacional sobre suas atividades concernentes às informações e recomendações práticas para os higienistas ocupacionais ao redor do mundo.

<sup>4</sup> Denominação em inglês Threshold Limit Values e é marca registrada da ACGIH.

Sob o enfoque técnico, os limites de exposição foram desenvolvidos como guias de orientação para a prevenção dos riscos à saúde. Estes limites não são fixos, podendo ser alterados, pois refletem o atual conhecimento científico que se tem sobre as substâncias.

Segundo ACGIH (2003), os TLV são baseados em informações disponíveis provenientes de experiências industriais, experiências em humanos ou estudos em animais; e, sempre que possível, uma combinação destas três.

Os padrões de qualidade do meio ambiente, estabelecidos para os poluentes atmosféricos (dióxido de enxofre, material particulado, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos expressos como ozônio e dióxido de nitrogênio) são bem menores que as concentrações estabelecidas para os ambientes de trabalho. Isto se deve ao fato de o indivíduo ser selecionado para trabalhar em uma atividade específica e ficar exposto durante um período parcial do dia (8 horas), durante sua vida laboral, além de ter um acompanhamento médico periódico, enquanto que os padrões ambientais, são baseados em estudos científicos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas, e se aplicam a toda a população, sem restrições de idade, sexo, condição de saúde, com tempo de exposição total de 24 horas por dia, durante toda a vida.

A proteção contra danos à saúde pode ser o fator base utilizado para o estabelecimento dos limites de exposição. Os danos à saúde considerados incluem aqueles em que possa haver uma redução da expectativa de vida, um comprometimento de alguma função fisiológica, a perda da capacidade de resistência a outras substâncias tóxicas ou à instalação de doenças, ou ainda, que tragam efeitos adversos à reprodução ou desenvolvimento do ser humano. No entanto, nem sempre os efeitos adversos à saúde sejam os únicos fatores considerados para se estabelecer padrões de exposição a agentes ambientais. Muitas vezes leva-se em conta aspectos sociais, políticos, técnicos e econômicos, que se associam a um determinado padrão e à possibilidade de implantação de medidas de controle para reduzir os riscos a níveis aceitáveis. Deste modo tem-se um componente técnico, associado à componentes sociais e políticos, refletindo a posição da sociedade.

Para Vogel (1995), os limites de exposição apresentam limitações, pois não consideram a influência do trabalho noturno ou do trabalho que depende da capacidade de resistência do organismo; os diferentes valores de limite de exposição também não consideram os problemas que representam as diferentes combinações de exposição (concomitante ou durante a vida) e ignoram os mecanismos imunitários que fazem com que a insatisfação do trabalho reduza as capacidades de resistência do organismo. Exposições múltiplas a diferentes agentes químicos e/ou físicos têm sido pouco estudadas.

Face às condições restritas do limite de exposição, que não é considerado uma linha divisória entre concentrações seguras e inseguras, um novo parâmetro foi estabelecido para a prevenção dos riscos no ambiente de trabalho, e também regulamentado em lei, que é o Nível de Ação. Conforme definido na NR-9 - PPRA, regulamentada pela Portaria nº 25 de 29 de dezembro de 1994, que alterou a Portaria nº 3.214 de 1978, "é um valor de concentração que corresponde a metade do LT para os agentes químicos". O que significa dizer que, quando ultrapassado, deverão ser adotadas ações preventivas que, no mínimo, assegurem a manutenção das condições existentes, de forma a não permitirem degenerações próprias de qualquer processo dinâmico, especialmente quando possam conduzir a condições que se aproximem ou ultrapassem os limites de exposição (Saad; Giampaoli, 1999).

Estatisticamente o nível de ação representa um valor de concentração abaixo do qual pode-se garantir, com 95% de confiança que o limite de exposição não será ultrapassado em 95% dos dias de trabalho, durante o ano (Hawkins; Norwood; Rock, 1991).

No caso das poeiras minerais, especificamente as poeiras contendo sílica livre cristalizada, o Anexo 12 da NR-15 estabelece três limites de tolerância distintos, os quais não são fixos, isto é, variam em função da porcentagem de quartzo contida na amostra.

O limite de tolerância, para amostras coletadas com o impinger e contadas pela técnica de campo claro, expresso em milhões de partículas por decímetro cúbico (mppdc) é dado pela seguinte fórmula:

$$LT = \frac{8,5}{\% \text{ quartzo} + 10} \quad \text{mppdc} \quad (1)$$

O limite de tolerância para poeira respirável, expresso em  $\text{mg}/\text{m}^3$ , é dado por:

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

O limite de tolerância para poeira total (respirável e não respirável), expresso em  $\text{mg}/\text{m}^3$ , é dado pela seguinte fórmula:

$$LT = \frac{24}{\% \text{ quartzo} + 3} \quad \text{mg}/\text{m}^3 \quad (3)$$

Um dos primeiros parâmetros ocupacionais recomendados para a poeira industrial de quartzo, foram obtidos na indústria de granito em Vermont nos Estados Unidos, provenientes de estudos desenvolvidos na própria atividade mineira. O limite máximo recomendado para quartzo foi de 10 mpppc (milhões de partículas por pé cúbico) de poeira contendo 25% a 35% de quartzo (Estados Unidos da América, 1974).

Os primeiros valores de TLV para sílica foram publicados em 1946 sendo denominados de concentração máxima permitida (CMP), e consideraram as seguintes faixas para a porcentagem de sílica (tabela 3).

**Tabela 3** - Variação da porcentagem de SiO<sub>2</sub> admissível por concentração máxima permitida (CMP) em milhões de partículas por pé cúbico (mpppc).

% de SiO <sub>2</sub>	CMP – (mpppc)
Alta (acima de 50% de SiO <sub>2</sub> )	5
Média (5 a 50% de SiO <sub>2</sub> )	20
Baixa (abaixo de 5% de SiO <sub>2</sub> )	50

Fonte: Estados Unidos da América, 1974.

Em 1983, a ACGIH propôs a alteração do limite de exposição da sílica (TLV) para 0,1 mg/m<sup>3</sup>, e adotou essa alteração somente em 1986. Inicialmente a mudança foi recomendada a fim de uniformizar o TLV para sílica conforme o padrão usado nas demais poeiras e para simplificar o cálculo do TLV nas misturas contendo quartzo, cristobalita e tridimita. Outra "vantagem" da alteração pela ACGIH foi estabelecer um valor "fixo" aceito para exposição à sílica.

Conforme relatado por Estados Unidos da América (2002), o National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), estabeleceu já em 1974 o limite recomendado de exposição para poeira respirável de sílica cristalina de 0,05 mg/m<sup>3</sup>, para concentrações médias ponderadas de jornadas até 10 horas por dia durante 40 horas semanais.

Os limites de exposição (TLV) propostos pela ACGIH são revisados anualmente, e quando necessário, são atualizados dentro dos conhecimentos técnico-científicos disponíveis. O TLV recomendado em 2003 para poeira de sílica cristalina respirável (quartzo) é 0,05 mg/m<sup>3</sup>.

De acordo com a recomendação da ACGIH (2003), quando duas ou mais substâncias que atuam sobre o mesmo sistema orgânico ou órgão estiverem presentes, deverão ser considerados os seus efeitos combinados, e a fórmula preconizada para o cálculo do TLV é para as misturas. Na falta de informações contrárias, a ACGIH (2003) sugere que os efeitos de diferentes riscos devam ser informados como aditivos; isto é, se a soma das seguintes frações:

$$\frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \dots + \frac{C_n}{TLV_n} \quad (4)$$

exceder a unidade, então o limite de exposição da mistura deve ser considerado excedido, sendo que  $C_n$  indica a  $n$ ésima concentração atmosférica observada e  $TLV_n$  o limite de exposição correspondente para as  $n$ ésimas substâncias.

Partindo desse conceito de efeito aditivo, Hearl (1996), demonstrou a seguinte equação matemática para calcular o LT para sílica:

considerando  $C_q$  a concentração correspondente a quartzo com TLV de 0,1 mg/m<sup>3</sup>, e, considerando  $C_p$  a concentração de poeira respirável com TLV igual a 5,0 mg/m<sup>3</sup>; aplicando a fórmula para misturas obtemos:

$$\left( \frac{C_q}{0,1} \right) + \left( \frac{C_p}{5,0} \right) = 1 \quad (5)$$

Por uma regra de três, determina-se o percentual de quartzo:

$$\begin{array}{l} C_p \longrightarrow 100\% \\ C_q \longrightarrow \% \text{ quartzo} \end{array} \quad (6)$$

Assim:

$$\% \text{ quartzo} = \left( \frac{C_q}{C_p} \right) \times 100 \quad (7)$$

Multiplicando-se a eq.(5) por  $\left( \frac{10}{C_p} \right)$  temos:

$$\left( \frac{C_q}{0,1} \right) \left( \frac{10}{C_p} \right) + \left( \frac{C_p}{5,0} \right) \left( \frac{10}{C_p} \right) = \left( \frac{10}{C_p} \right) \quad (8)$$

Simplificado temos:

$$\left\{ \left[ \frac{C_q}{C_p} \right] \times 100 \right\} + 2 = \left[ \frac{10}{C_p} \right] \quad (9)$$

Substituindo % quartzo da eq.(7) dentro dos colchetes da eq.(9) temos:

$$\% \text{ quartzo} + 2 = \left[ \frac{10}{C_p} \right] \quad (10)$$

Rearranjando a eq.(10) temos que:

$$C_p = \frac{10}{\% \text{ quartzo} + 2} \quad \text{mg/m}^3 \quad (11)$$

Portanto, o TLV para poeira de sílica respirável, que agrupa o TLV de 0,1 mg/m<sup>3</sup> para o quartzo e 5,0 mg/m<sup>3</sup> para poeira respirável, é a própria fórmula para misturas rearranjada.

Com a publicação da Portaria nº 3.214 de 1978 do MTE, o governo brasileiro passou a adotar os limites indicados pela ACGIH, porém, devido a diferença da jornada de trabalho (na época a jornada de trabalho no Brasil era de 48 horas semanais enquanto a recomendação da ACGIH era para 40 horas semanais), foi necessário adaptar os novos valores dos limites de tolerância.

Segundo Arcuri; Cardoso (1991), o critério aplicado pelo governo para corrigir os novos limites de tolerância foi o modelo toxicocinético desenvolvido pelos pesquisadores Brief e Scala.

O modelo desenvolvido por Brief; Scala (1975), tem a seguinte expressão:

$$FR = \frac{40}{h} \times \frac{168 - h}{128} \quad (12)$$

onde: FR = fator de redução

$h$  = nova jornada de trabalho em horas (48)  
 40 = jornada de trabalho de 40 horas semanais  
 168 = 7 dias da semana multiplicado por 24 horas  
 128 = 168 – 40 (parcela correspondente ao tempo em horas de não-exposição)

Aplicando  $h = 48$  na eq.(12) temos:

$$FR = 0,8 \quad (13)$$

Da multiplicação do FR de 0,8 pelo TLV obtém-se os novos limites de tolerância corrigidos, segundo Brief e Scala.

Assim, o limite de tolerância para sílica respirável é:

$$LT = \frac{8}{\% \text{ SiO}_2 + 2} \text{ mg/m}^3 \quad (14)$$

O modelo proposto por Brief e Scala reduz o TLV proporcionalmente ao aumento de exposição e à redução do tempo de não-exposição. Conforme a ACGIH (2003), este modelo pode ser aplicado para jornadas de trabalho superiores a 8 horas por dia ou 40 horas por semana, não devendo ser aplicado para justificar concentrações mais elevadas que as permitidas, quando as exposições são curtas, por exemplo, exposições a 8 vezes o TLV para uma hora de exposição e exposição zero no restante da jornada. Nestes casos, se aplicam as limitações gerais de digressão do TLV e os limites para curta duração, evitando o uso inadequado deste modelo para períodos muito curto de exposição.

Segundo Soto; Saad; Fantazzini (1982), quando a concentração de poeira for expressa em mppdc conforme a eq.(1), a metodologia recomenda coletar a poeira utilizando impinger e posterior contagem das partículas pela técnica de campos claros. Essa técnica foi muito útil no passado. Devido este procedimento apresentar alguns inconvenientes, como:

- a) a amostra coletada pelo impinger necessita ser contada dentro de vinte e quatro horas;
- b) o erro associado com a análise ser desconhecido;
- c) o método não fornece nenhuma informação sobre a composição e tamanho das partículas, necessitando-se coletar outras amostras para determinar a porcentagem de sílica,

o método da microscopia não é adequado e é considerado obsoleto pelo NIOSH.

Muito embora existam os três limites de tolerância distintos para poeira de sílica, a ACGIH recomenda utilizar o limite de exposição que considera a seleção do tamanho das partículas, como reconhecimento da associação bem estabelecida entre a silicose e as concentrações de poeira respiráveis.

Se não forem consideradas as limitações, imprecisões e especificidades das várias opções de instrumentação e métodos analíticos existentes no mercado, os resultados finais podem levar a sérios erros de interpretação, devidos ao método analítico escolhido, ou devido à estratégia de amostragem adotada.

Além da legislação trabalhista, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, Brasil (2002a), o DNPM tem por escopo, promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e o aproveitamento dos recursos minerais, supervisionando as pesquisas geológicas, minerais e de tecnologia mineral, bem como assegurando, controlando e fiscalizando o exercício das atividades de mineração em todo o Território Nacional, na forma do que dispõem o Código de Mineração; o Código de Águas Minerais; os respectivos regulamentos e a legislação que os complementam, competindo-lhe, em especial entre outros:

...VII - baixar normas, em caráter complementar, e exercer a fiscalização sobre o controle ambiental, a higiene e a segurança das atividades de mineração, atuando em articulação com os demais órgãos responsáveis pelo meio ambiente e pela higiene, segurança e saúde ocupacional dos trabalhadores.

### 3.2.2 Gerenciamento de riscos

Nos últimos cinquenta anos, o gerenciamento de riscos surgiu como uma disciplina científica interdisciplinar no campo de estudos conhecido por Ciência da Decisão, a fim de desenvolver métodos para redução de riscos. Inicialmente sua aplicação ocorreu na segurança aeronáutica e em usinas nucleares, e posteriormente, se disseminou na saúde e segurança do trabalho, meio ambiente e transportes. Nas últimas décadas, o gerenciamento de riscos tem sido reconhecido como um elemento essencial para tomada de decisão.

Porém, se refletirmos sobre a percepção e a convivência com o risco, veremos que o gerenciamento de riscos é tão antigo quanto o próprio homem. O homem sempre esteve envolvido com riscos e decisões, e o surgimento do gerenciamento de riscos tal como conhecemos hoje, foi que a comunidade de pesquisadores aglutinaram em um conjunto de teorias lógicas e objetivas o que já se vinha fazendo de forma independente.

"Uma coisa é segura se os riscos presentes são julgados aceitáveis" (Lowrance, 1976). Este princípio constituiu a moderna teoria do gerenciamento de riscos (McColl et al., 2000).

O processo de gerenciamento de riscos é o meio pelo qual o governo e outras organizações não governamentais procuram definir a aceitabilidade do risco frente a um perigo, considerando a gravidade e a probabilidade do efeito adverso à saúde, a exposição da população, as medidas de controle dos contaminantes e os custos e benefícios esperados das várias estratégias para redução do risco.

Assim como toda tomada de decisão, o gerenciamento de riscos também está encoberto pela incerteza, e o sucesso do gerenciamento é verificado pela prática e emprego de soluções que tratam das incertezas.

A essência dos PGR decorre da compreensão de que a segurança de uma instalação depende do seu gerenciamento global e não apenas de fatores isolados.

No gerenciamento global, a operação segura da instalação requer a implementação de um processo integrado de estruturas, responsabilidades e

procedimentos, denominados de sistema de gestão, que atua em consonância com recursos e soluções tecnológicas disponíveis.

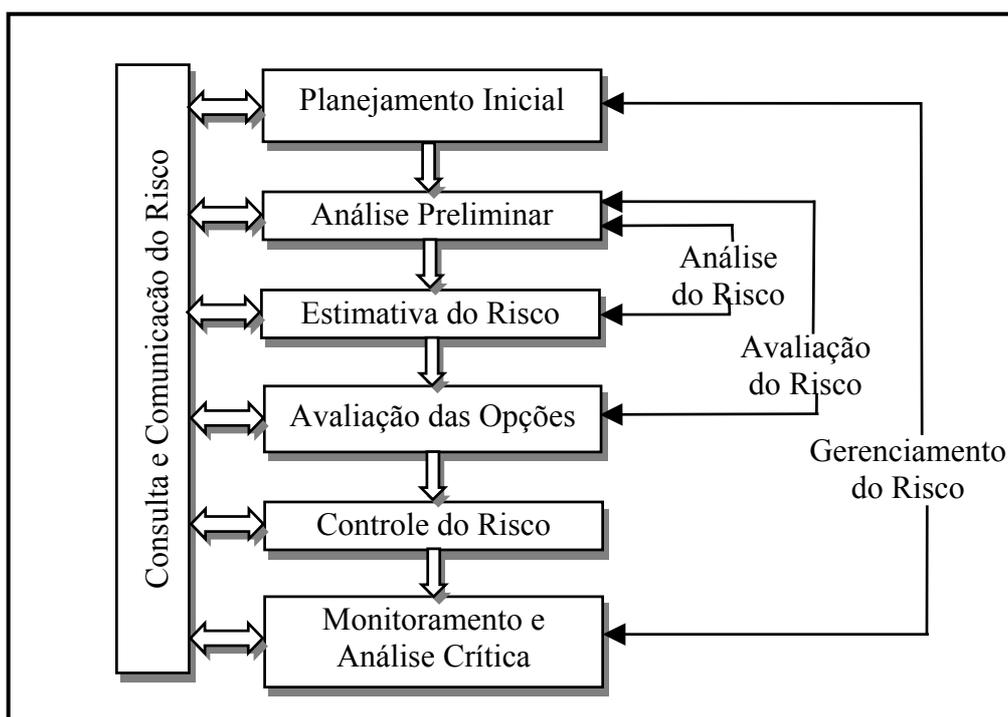
Há diversos modelos de programas de gerenciamento de riscos, no entanto, o conteúdo consiste basicamente em desenvolver estratégias para identificar, avaliar, controlar e monitorar os riscos decorrentes dos perigos presentes nos ambientes de trabalho, fornecendo informações necessárias para tomada de ações prioritárias.

A Canadian Standards Association desenvolveu uma norma genérica para o gerenciamento de riscos, a norma CSA-Q850, aplicável a qualquer tipo de risco, seja ele relativo ao meio ambiente, a propriedade ou a saúde e segurança do trabalho. A norma descreve o processo passo a passo para o reconhecimento, análise, avaliação e comunicação, e seus inter-relacionamentos, a tudo que são necessários para a tomada de decisão.

Esta norma é interessante pois além da aplicação sistemática de políticas gerenciais, procedimentos, e práticas adotadas na análise, avaliação e controle, considera a comunicação do risco como uma etapa do processo de gerenciamento. Foi desenvolvida em conjunto pela Universidade de Waterloo com as indústrias, organizações não governamentais, pesquisadores do governo canadense e técnicos especialistas em risco ambiental. Veio em resposta aos acidentes industriais e ambientais que resultaram em perdas humanas, econômicas, sociais e para o meio ambiente (Canadian Standards Association, 1997).

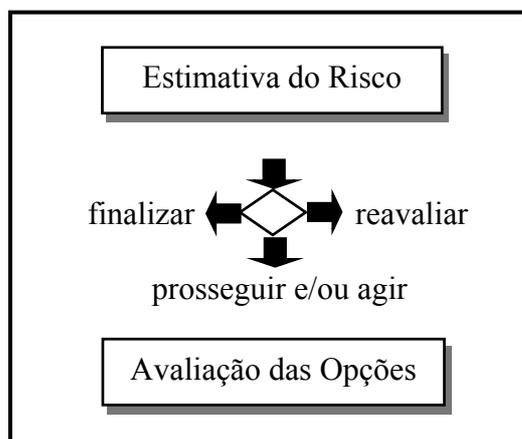
O processo descrito nesta norma consiste em seis etapas conforme o fluxograma representado na figura 10.

Entre cada etapa há uma tomada de decisão com três resultados possíveis: finalizar, reavaliar ou prosseguir e/ou agir. A decisão para finalizar pode ser tomada se o risco não mais existir ou for considerado aceitável entre as partes; a decisão para reavaliar a etapa, é tomada a fim de se aprimorar e complementar as informações sobre o risco. O esquema do processo de tomada de decisão, exemplificado na figura 11, aparece entre cada uma das etapas do fluxograma.



Fonte: adaptado da CSA – Q850 (1997).

Figura 10- Programa de gerenciamento de riscos da Canadian Standards Association (1997), CSA-Q850.



Fonte: adaptado da CSA – Q850 (1997).

Figura 11- Tomada de decisão CSA-Q850-(1997).

As ações em cada etapa são resumidamente descritas a seguir:

Planejamento Inicial: estabelece os detalhes do processo administrativo, identificando as partes interessadas, reconhecendo os perigos e formulando o problema.

Análise Preliminar: define as dimensões básicas do problema e avalia o potencial em função das necessidades e interesses das partes interessadas, e identifica os perigos dentro de um cenário de riscos.

Estimativa do Risco: usa técnicas e métodos analíticos para quantificar ou qualificar a exposição dos riscos ocupacionais; incluindo as considerações das incertezas das estimativas, dos perigos identificados na fase anterior.

Avaliação das Opções: avalia os riscos em termos dos interesses e necessidades das partes, custos e benefícios. Na análise de custo e benefício, todos os custos e todos os benefícios são expressos na mesma base monetária, ou seja o dinheiro. No entanto, muitos custos e benefícios, particularmente os valores da vida humana, são problemáticos para se avaliar em termos monetários. Quanto aos custos de implementação das opções, é importante realçar que nenhum benefício será atingido sem que os objetivos e as metas sejam alcançados.

Controle do Risco: identifica e avalia as opções viáveis em termos de suas eficiências e eficácias.

Monitoramento e Análise Crítica: verifica se possíveis mudanças nas circunstâncias que possam modificar os riscos analisados e controlados, checando se a eficácia das medidas adotadas e se os pressupostos assumidos estão corretos.

Consulta e Comunicação dos Riscos: esta etapa está associada às demais etapas do processo e é uma via bilateral interativa de comunicação entre as partes interessadas onde ocorre a troca de informações e opiniões, assim como são obtidos a percepção dos riscos e perigos, e os benefícios e a aceitabilidade dos riscos são identificados e avaliados.

Dentre as etapas do processo de gerenciamento dos riscos, a etapa da avaliação da exposição à poeira será explorada mais detalhadamente. Esta etapa é fundamental, pois é nesta fase que são obtidos os dados sobre a exposição dos

trabalhadores e as informações necessárias para subsidiar o equacionamento das medidas preventivas.

O modelo de gerenciamento de riscos proposto pela CSA tem a capacidade de organizar e examinar as informações científicas e socioeconômicas num fórum aberto para discussão pública, com todas as partes interessadas. Neste sentido, este modelo de gerenciamento de riscos é um processo de tomada de decisão participativo, do qual se obtém a visão de todos aqueles que são afetados pela decisão de tal forma, que diferentes avaliações técnicas, valores, conhecimentos e percepções são considerados, tornando a decisão mais aceitável e prudente.

Embora conste nas NR-9 e NR-22 que o trabalhador tenha o direito de receber informações e orientações sobre os riscos a que estão ou possam vir a estar expostos quando no exercício de suas funções, essa participação dos trabalhadores é diferente quando eles próprios também estão envolvidos com o risco e tomam decisões, como sugere a norma canadense CSA-Q850.

A implementação de um PGR não resulta em um trabalho sem riscos, mas permite o conhecimento e a possibilidade de tratar o problema, buscando manter os riscos em níveis aceitáveis.

### **3.2.2.1 Perigo**

É importante não confundir risco com perigo. Conforme consta no dicionário Aurélio (Ferreira, 1986), estas duas palavras são consideradas sinônimas. No entanto no âmbito da SST estes conceitos estão definidos de forma diferente e divulgados em diversas normas técnicas por instituições estrangeiras.

O perigo é definido como algo com potencial de causar dano.

De acordo com British Standards Institute (1996), perigo (*hazard*) é uma fonte ou uma situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, danos à propriedade, dano ao meio ambiente, ou uma combinação destes.

O perigo é somente determinado se uma substância ou situação tem o potencial de causar um efeito danoso. O risco não existe se não houver perigo.

Um perigo totalmente isolado ou afastado não se constitui num risco. Assim por exemplo, a sílica cristalina contida num maciço granítico representa perigo, no entanto não há risco, a menos que a sílica seja liberada e dispersa no ambiente e que algum indivíduo esteja exposto e também inale as partículas.

Embora a sílica possua um perigo intrínseco com potencial de causar a silicose, o risco pode ser controlado de forma que não cause dano à saúde.

Todas as substâncias são potencialmente tóxicas, uma vez que todas podem causar dano ou morte com dose excessiva. Por outro lado, se a exposição para os organismos suscetíveis for mantida abaixo dos limites de tolerância, e forem tomadas as precauções necessárias, as substâncias podem ser usadas de forma segura (Organização Mundial da Saúde, 1994).

A identificação do perigo de uma substância envolve a avaliação qualitativa dos dados disponíveis de toxicologia, epidemiologia e biologia. Um perigo não é quantificado, pode ser expresso, via a classificação do seu potencial predominante que a substância pode produzir como resultado da exposição.

### **3.2.2.2 Risco**

O termo risco pode ser definido de várias formas, porém, na perspectiva desta dissertação, significa a probabilidade de um efeito específico ocorrer dentro de um período específico ou em circunstâncias específicas.

Dessa forma, o risco, sob o enfoque adotado, pode ser estimado pela perda econômica e/ou de danos à vida humana, resultante da combinação entre frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (conseqüências).

Assim, risco é a combinação de dois fatores:

- a) a probabilidade de que um efeito adverso possa ocorrer,
- b) a conseqüência do evento adverso (perdas e/ou danos).

Pode-se expressar o risco como função da frequência e da consequência; como:

$$\text{Risco} = f(\text{frequência}, \text{consequência}) \quad (15)$$

Na perspectiva de Jayjock; Lynch; Nelson (2000), a avaliação de riscos à saúde humana do ponto de vista da higiene ocupacional pode ser definida como "a avaliação da exposição a agentes químicos ou físicos para estimar a probabilidade dos efeitos adversos à saúde desta exposição em uma população humana específica".

Os referidos autores adotaram o seguinte algoritmo para auxiliar na descrição de vários aspectos e relações envolvendo a avaliação e o gerenciamento de riscos:

$$\text{Risco} = \left( \frac{\text{probabilidade de efeito à saúde}}{\text{unidade de exposição}} \right) \times \left[ \text{nível de exposição} \right] \quad (16)$$

Ou seja; a avaliação de risco pode ser determinada pela probabilidade de efeitos adversos à saúde pela combinação da dose-resposta e a avaliação do nível exposição sobre um período relevante de tempo.

A probabilidade de produzir um efeito adverso à saúde por unidade de exposição é a informação que se busca dos efeitos à saúde em animais e indivíduos, por meio de experimentos e estudos epidemiológicos, e representa o conceito clássico toxicológico da dose-resposta.

Para os propósitos deste trabalho, a exposição é expressa como sendo o produto da concentração da substância no ar pelo tempo de inalação da pessoa.

A estimativa do risco para uma determinada atividade ou processo é avaliada, de modo a subsidiar a tomada de decisão quanto à necessidade de sua redução ou não. Para tanto, são utilizados critérios comparativos entre riscos, o que implica necessariamente no estabelecimento de níveis de aceitabilidade ou tolerabilidade de riscos. A aceitabilidade de um risco é tema de julgamento pessoal, social, político e econômico.

A equação (16) apresentada anteriormente estabelece uma definição formal e essencialmente analítica para a avaliação do risco. Porém, na prática, essa equação sofreu algumas alterações de uso comum, passando a incluir o elemento da aceitabilidade de risco. Dessa forma, a avaliação do risco passou a ter embutido um aspecto subjetivo adicional, podendo ser expresso pela seguinte relação simplificada:

$$\text{Risco} = \frac{\text{exposição}}{\text{limite de exposição}} \quad (17)$$

Considerando, por exemplo, uma amostragem durante um período de 8 horas, que resultou em uma concentração média de  $0,01 \text{ mg/m}^3$ , em decorrência a exposição é igual a  $0,01 \text{ mg/m}^3$ . Considerando um limite de exposição de  $0,05 \text{ mg/m}^3$ , o resultado da razão entre a exposição e o limite de exposição é igual a 0,2, ou seja, a exposição corresponde a 20% do limite de exposição que representa o nível aceitável de exposição e risco. Outra forma de expressar o mesmo resultado da aceitabilidade é através da margem de segurança. A margem de segurança é recíproca ao risco da equação (17). Dessa forma, a margem de segurança no exemplo dado, é igual a 5, e, quanto maior for a margem de segurança, maior é o nível de confiança de que o risco está abaixo dos níveis aceitáveis.

Quanto mais o risco da equação (17) tender a zero, ou quanto menor for a exposição, maior será a garantia de não ocorrer dano, e a aceitabilidade do risco será maior.

A estimativa do risco em determinadas situações é um objetivo técnico, porém, determinar a aceitabilidade desse risco é um julgamento que envolve outros valores. Não há um único número para aceitabilidade do risco, sendo a aceitabilidade o nível de risco associado com a alternativa aceitável, pactuada, ou até imposta às partes afetadas e interessadas.

O estabelecimento de limites para riscos aceitáveis depende de muitos fatores complexos, cujo resultado normalmente apresenta um nível razoável de incerteza. Esse fato decorre principalmente em função das dificuldades para determinação

exata de todos os riscos envolvidos, além de ter que se considerar outros aspectos de percepção dos riscos, tais como:

- a) fatores individuais: dados biográficos (idade, qualificação profissional.); personalidade; valores, normas e crenças; vulnerabilidade pessoal frente a influência da grupo; temeridade percebida; destreza e controle; voluntariedade; estresse, atenção e ânimo;
- b) fatores ambientais: informação estatística; informação histórica; informação da mídia, e
- c) fatores contextuais: cultura; alternativas disponíveis; contexto político; situação econômica; acontecimentos recentes; credibilidade da informação e comunicação de riscos.

O risco é complexo, não simplesmente porque tem dois ou mais componentes, mas também porque cada componente tem um elemento desconhecido ainda não suficientemente entendido e estes componentes interagem entre si.

Dessa forma, a expressão do risco na equação (17), apesar de aparentar ser simples e apresentar o risco numericamente, no máximo poderá indicar uma estimativa do risco como resultado, pois não estão sendo levadas em consideração as outras variáveis estudadas pelas ciências sociais e pela psicologia.

Nesta perspectiva, Lieber; Romano-Lieber (2002) sintetizam risco como sendo uma relação que pode ser estabelecida sob argumentos objetivos, mas a percepção e a aceitação desta relação está sujeita aos aspectos culturais e pessoais, cabendo à psicologia social estabelecer formas e parâmetros para que o entendimento se complete.

Para Vogel (1995), as noções de risco em saúde e segurança do trabalho são socialmente construídas, e como toda construção social leva as marcas das relações de força e de valores da sociedade na qual está inserida. Deste modo, durante décadas, uma parte importante do setor médico negou que a silicose fosse uma doença ocupacional e o seu reconhecimento foi mais o resultado de uma relação de forças do que um progresso científico.

### 3.2.3 Sílica e silicose

#### 3.2.3.1 Sílica

Sílica, quartzo, sílica livre, sílica livre cristalizada ou sílica cristalina são sinônimos sendo representadas por um composto unitário de  $\text{SiO}_2$  (dióxido de silício). A unidade estrutural da maioria das formas da sílica e dos silicatos é um arranjo tetraédrico de quatro átomos de oxigênio (O) ao redor de um átomo de silício (Si) centralizado formando silício tetraédrico  $\text{SiO}_4$ . Variações na orientação entre as células de silício tetraédrico resultam em nova simetria produzindo diferentes polimórficos da sílica como quartzo, tridimita, cristobalita, trípoli, sílica gel e sílica fundida, que também possuem características toxicológicas distintas.

A sílica é uma substância quimicamente inerte. O seu uso como aditivo em alimento é permitido para consumo humano e animal, e consta da listagem do U.S. Food Chemicals Codex and National Formulary. No caso de ocorrer ingestão, a maior parte da sílica se dissolve no trato digestivo e é excretada pelo sistema urinário. A estimativa da dose letal oral de sílica no homem é maior de 15 g/kg (Patterson, 1997).

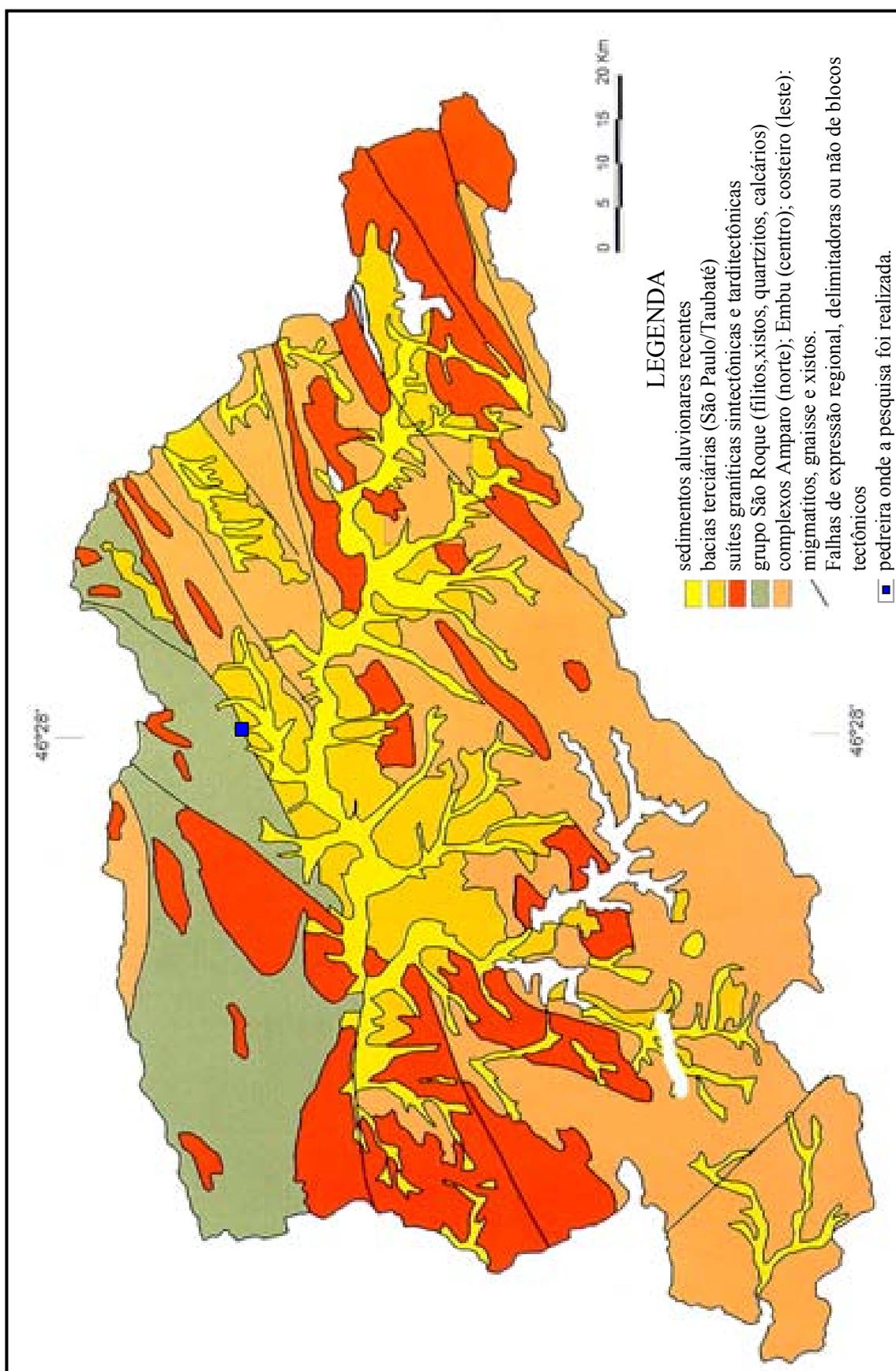
A principal fonte de sílica cristalina é o quartzo, cujo mineral constitui a maioria das classes de rochas. Os silicatos é a classe de maior importância, pois, cerca de 25% dos minerais conhecidos e quase 40% dos mais comuns são silicatos. A sílica constitui cerca de 60%, em peso, da crosta terrestre, ocorrendo sozinha ou combinada com outros óxidos ou silicatos (Patterson, 1997).

Boa parte dos minerais empregados na construção civil é aplicada tal como se encontra na natureza. Um dos mais importantes deles é o granito, notável por sua dureza e resistência. Da cominuição de blocos maiores da rocha, obtém-se a brita, que pode ser usada *in natura* ou misturada, servindo de base para produção do concreto, para pavimentação de rodovias e para fabricação de artefatos de cimento e outros pré-moldados.

A gênese da rocha granítica envolve um resfriamento interno lento de modo tal que permite o crescimento e a separação dos minerais formando os cristais.

Segundo Cuchierato (2000), na RMSP, as britas são predominantemente originárias de rochas de composição granítica (granitos e gnaisses), correspondendo em torno de 90% do total de minerações. Neste mesmo estudo, a autora apresenta os resultados das análises químicas realizadas para vários componentes da areia, obtidas em 14 empresas estudadas. As porcentagens em peso referentes aos teores de quartzo variam entre 58,9% e 72,0%, com média de 67,03%. Muito embora esses resultados expressem a porcentagem de quartzo contido nos resíduos de uma parcela das minerações de agregados, e não para todo o universo das pedreiras da RMSP, observamos que o quartzo é a substância predominante na composição desse tipo de material.

A figura 12, a seguir, apresenta um esboço geológico simplificado da RMSP, onde se localiza a pedreira objeto deste trabalho.



Fonte: Valverde (1997).

Figura 12 - Esboço Geológico Simplificado da RMSP

### 3.2.3.2 Silicose

Quanto aos efeitos da exposição a poeiras, estes já foram observados por Georgius Agrícola em 1516 nas minas dos Montes Metalíferos, situados na divisa entre a República Federal da Alemanha e a República Tcheca, e que foram publicados em doze livros conhecidos por “De Re Metallica” (Nogueira, 1984).

Em 1567, surgiu a primeira monografia inteiramente dedicada às doenças dos mineiros e fundidores, “Von der Bergsucht und anderen Bergkrankheiten”, obra do suíço Aureolus Teophrastus Bombastus von Hohenheim, conhecido por Paracelsus.

Poeira respirável envolve partículas cujos diâmetros aerodinâmicos são menores que 10  $\mu\text{m}$ . Essa definição foi originalmente recomendada pelo British Medical Research Council (BMRC) em 1952, e internacionalmente adotada em 1959 durante a Johannesburg Pneumoconiosis Conference (Lioy; Lippmann; Phalen, 1985).

A principal via de entrada das poeiras no organismo é através do sistema respiratório, já que as superfícies dos alvéolos pulmonares num adulto, representam uma área que varia entre 75 a 85  $\text{m}^2$  e um volume respiratório variando aproximadamente entre 500 a 600 litros de ar por hora, segundo Vallyathan; Shi (1997). Assim, o consumo médio diário de um adulto é em torno de 13.000 litros de ar por dia, e dependendo do esforço físico realizado, o consumo de ar pode aumentar.

A inalação de partículas respiráveis de sílica, que são capazes de penetrar e de depositar na região alveolar, conduz a um processo fibrótico no pulmão conhecido por silicose. A sílica cristalina é tóxica para o macrófago alveolar devido às suas propriedades de superfície que levam à destruição da membrana celular.

A sílica amorfa não tem sido associada a silicose, porém pode causar irritação no sistema respiratório.

Segundo Estados Unidos da América (2002), a silicose pode se manifestar patologicamente sob três formas distintas: a silicose aguda, a silicose acelerada ou sub-aguda e a silicose crônica. A silicose aguda se desenvolve após a exposição a altas concentrações de sílica cristalina entre um período que vai desde algumas

semanas até cinco anos após a exposição inicial. A silicose acelerada ou sub-aguda resulta de exposição a altas concentrações de sílica cristalina e se desenvolve entre cinco e dez anos após o início da exposição. Por sua vez, a silicose crônica apresenta evolução lenta e progressiva, que resulta em insuficiência pulmonar, por alterações da ventilação pulmonar e das trocas gasosas. Geralmente os sintomas e os efeitos físicos não são sentidos por algum tempo, com um tempo de latência, em média de dez anos ou mais, e quando os sinais e sintomas são identificados e diagnosticados, o dano já ocorreu. Além disso, a silicose é uma doença irreversível, isto é, mesmo não havendo mais a exposição à poeira de quartzo, a doença não se estabiliza, mas continua progredindo (Kitamura; Bagatin; Capitani, 1996).

Castranova et al. (1996) têm reportado que a trituração da sílica cristalina gera radicais livres de silício-oxigênio na superfície da partícula e que esta poeira recém gerada é mais citotóxica *in vitro* que a sílica fragmentada a mais tempo. A concentração destes radicais livres decresce com o tempo e a meia-vida é de 30 horas aproximadamente. Estas pesquisas também indicaram que a inalação de sílica recém fraturada causa reações tóxicas pulmonares e inflamatórias maiores que a sílica fragmentada a mais tempo, devido aos radicais silício-oxigênio serem biologicamente mais reativos. A citotoxicidade foi confirmada pela elevação das células vermelhas e proteínas nos espaços aéreos e a inflamação foi demonstrada pelo aumento da solicitação de leucócitos, aumento da potenciação dos oxidantes liberados pelos macrófagos alveolares e grande peroxidação lipídica.

Segundo a World Health Organization (1997), a International Agency for Research on Cancer (IARC), qualifica no Grupo A1 as substâncias cancerígenas ao homem, e, de acordo com as pesquisas desenvolvidas, o efeito da sílica cristalina sobre os humanos comprovou-se ser carcinogênico.

Em contrapartida, pela classificação da ACGIH, o quartzo está na categoria do Grupo A2, ou seja, carcinogênico humano suspeito, que significa dizer que há evidência limitada da carcinogenicidade no homem e evidência suficiente de carcinogenicidade nas experiências em animais, com relevância para os humanos (ACGIH, 2003).

Observa-se que não há uma concordância sobre o risco da sílica entre essas entidades, devido a diversos fatores que expressam a complexidade desse problema, que ainda será objeto de pesquisas científicas por algum tempo.

Tendo em vista a sua importância, duas organizações internacionais relacionados com a saúde e o trabalho, a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização Internacional do Trabalho (OIT), lançaram em 1995 um programa conjunto com o intuito de reduzir drasticamente a prevalência da silicose no âmbito mundial, e estabeleceram a meta para eliminar a doença até o ano 2030.

O Brasil sendo um dos países membros dessas organizações, difundiu em junho de 2002, o Programa Nacional de Eliminação da Silicose (Brasil, 2002c), sendo que dentre as prioridades do programa, destacam-se: ações educativas, estimativas mais adequadas da população em risco, promoção de estudos e pesquisas sobre métodos de prevenção de geração de poeiras e substitutos da sílica em certos processos de trabalho.

O objetivo básico deste programa visa obter uma significativa redução nas taxas de incidência de silicose em prazos medianos entre os anos de 2010 até 2015, e eliminar a doença, como problema de saúde pública, por volta do ano 2030<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Algranti, E. (Fundacentro). O programa da erradicação da silicose no Brasil. (Palestra proferida por ocasião do seminário nacional sobre "Gestão da segurança e saúde no trabalho no setor mineral" em Belo Horizonte, 19 Jun. 2002).

## 4 INSTRUMENTAÇÃO PARA COLETA DE POEIRA

### 4.1 Bomba de amostragem

Há no mercado diversos tipos e marcas de equipamentos utilizados para amostragem pessoal de agentes químicos no ar. Todos eles são importados. Uma das razões de ainda não se dispor de nenhum equipamento de fabricação nacional, talvez seja o fato do mercado consumidor ser pequeno e os custos de produção não serem vantajosos. Estes equipamentos apresentam-se na forma compacta, utilizam baterias recarregáveis, são intrinsecamente seguros e possuem dispositivos controladores de vazão que operam usualmente na faixa de 0,5 a 6 L/min. Esta faixa de vazão é compatível com os métodos de coleta utilizados para diversas substâncias. As bombas de amostragem possuem um sistema de controle de vazão volumétrica constante, que consiste de um sensor de variação de pressão instalado na tomada de ar e de um sensor de rotações por minuto da bomba. Os dados coletados por esses dois sensores são constantemente comparados com parâmetros internos da bomba, permitindo a monitoração contínua da vazão. Um programa de monitoração ajusta instantaneamente o fluxo da bomba para mantê-la dentro da faixa de vazão escolhida (mesmo variando-se a altitude).

### 4.2 Dispositivo amostrador

A coleta de poeira respirável é feita por meio de um dispositivo amostrador conforme mostrado na figura 13 constituído por dois estágios. No primeiro estágio é utilizado o ciclone, no qual a rápida circulação tangencial do ar provoca a separação das partículas conforme o diâmetro aerodinâmico equivalente<sup>6</sup>, retendo as partículas maiores que 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro e permitindo a passagem das partículas menores (fração respirável), para o segundo estágio. O segundo estágio é formado pelo porta-

---

<sup>6</sup> Diâmetro aerodinâmico equivalente corresponde ao diâmetro de uma esfera hipotética de densidade unitária ( $1\text{g/m}^3$ ) que tem a mesma velocidade terminal de sedimentação da partícula no ar, independente de seu tamanho geométrico, forma ou densidade real.

filtro, apresentado com os elementos componentes separados na figura 14, contendo suporte de celulose e filtro de membrana, sobre o qual a poeira respirável fica retida.

Para diminuir a variabilidade e coletar partículas no tamanho apropriado, os ciclones seguem os critérios estabelecidos pela International Organization for Standardization (ISO), Comité Européen de Normalisation (CEN) e da ACGIH. Os tipos comumente utilizados incluem o tipo Dorr-Oliver de náilon de 10 mm de diâmetro, e o ciclone condutivo Higgins-Dewell.

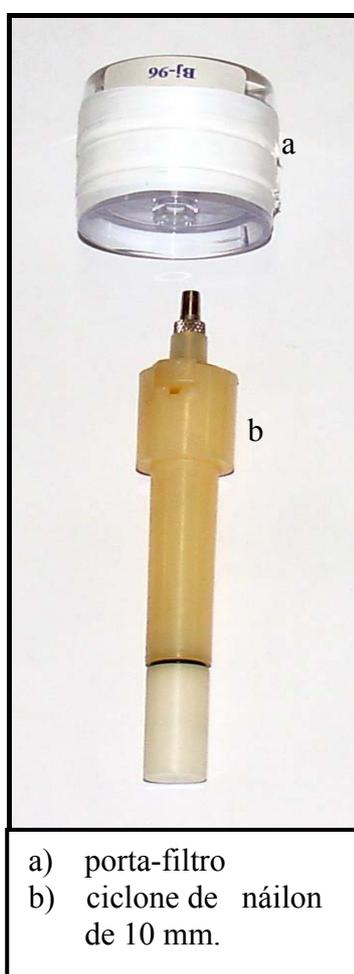


Figura 13- Conjunto amostrador para partículas respiráveis composto pelo ciclone de náilon Dorr-Oliver e porta-filtro.

A vazão de 1,7 L/min para o ciclone Dorr-Oliver e 2,2 L/min para o ciclone Higgins-Dewell apresentam um mínimo de variação para uma larga faixa de

distribuição de partículas que ocorrem no ambiente de trabalho. Existem também outros modelos, dentre eles o GK 2.69 que também está adequado às convenções para coleta de aerodispersóides respiráveis da ISO/CEN/ACGIH. Este ciclone é construído com material condutivo que elimina a eletricidade estática, e pode ser utilizado com uma vazão de ar mais alta para uma melhor sensibilidade da massa.

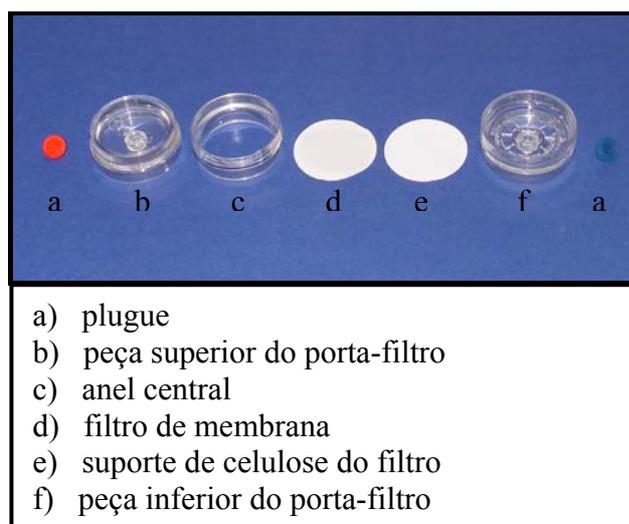


Figura 14- Conjunto de porta-filtro de três peças de poliestireno desmontado.

Para que a concentração de poeira obtida possa ser comparada com o limite de tolerância estabelecido no Anexo-12 da NR-15, o ciclone ou seletor, deve proporcionar a separação e a retenção das partículas conforme determinadas características, mostradas na tabela 4.

**Tabela 4** – Diâmetro aerodinâmico da partícula e a porcentagem de passagem pelo seletor.

Diâmetro aerodinâmico ( $\mu\text{m}$ ) (esfera de densidade unitária)	
menor ou igual a 2	90
2,5	75
3,5	50
5,0	25
10,0	0 (zero)

Fonte: Brasil, (1978).

Para que o dispositivo amostrador efetivamente separe as partículas dentro das características estabelecidas, a bomba de amostragem obrigatoriamente deve estar calibrada para operar na vazão de 1,7 L/min.

No entanto, a ACGIH (2003), adota outro critério de amostragem seletivo por tamanho de partículas para o material particulado em suspensão no ar, conforme representado na tabela 5.

**Tabela 5** – Diâmetro aerodinâmico da partícula e a fração de massa de material particulado respirável.

Diâmetro aerodinâmico da partícula ( $\mu\text{m}$ )	Massa de material particulado respirável (%)
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	9
8	5
10	1

Fonte: ACGIH (2003)

A diferença mais significativa entre as definições apresentadas nas tabelas 4 e 5 é o aumento do ponto médio de corte para um amostrador de material particulado respirável de 3,5  $\mu\text{m}$  para 4,0  $\mu\text{m}$ . Contudo, a própria ACGIH não recomenda nenhuma mudança para as medições de partículas respiráveis, usando um ciclone de náilon de 10 mm a uma vazão de 1,7 L/min.

### 4.3 Porta-filtro e filtro

Uma ampla diversidade de filtros está disponível no comércio, aplicados na avaliação de aerodispersóides, fornecendo ao usuário diferentes tipos de materiais, tamanho de poro, diâmetro e características de filtração.

As especificações técnicas do tipo de filtro de membrana empregado são estabelecidas em função do método analítico que será utilizado na análise.

Uma das fontes de erro freqüente na coleta por filtração é a vedação do porta-filtro. Para assegurar que todo o material coletado passe através do filtro, os porta-filtros são testados quanto à vedação e também quanto a possível ruptura do próprio filtro, através da medição de perda de carga. A figura 15 apresenta um manômetro de coluna inclinada com escala graduada em mmH<sub>2</sub>O, utilizado para verificação da perda de carga do porta-filtro. A faixa admissível da perda de carga está entre 294,20 Pa e 490,33 Pa (equivalente a 30 e 50 mmH<sub>2</sub>O), para filtro de membrana de PVC<sup>7</sup> de 5 µm de porosidade, 37 mm de diâmetro e vazão de 1,7 L/min. Essas características do filtro são estabelecidas para coleta de poeira de sílica e análise por difração de raios-X.



Figura 15- Sistema de medição da perda de carga no porta-filtro com manômetro de coluna inclinada.

Apesar da especificação do filtro apresentar porosidade de 5 µm, essa medida não é a dimensão física dos orifícios da superfície do filtro, mas é a perda de carga equivalente a um filtro de 5 µm de poro. O filtro retém partículas bem menores de 5 µm, pois o processo de filtração não se faz simplesmente pela retenção na superfície, como se fosse uma peneira. As partículas são capturadas principalmente pelos

---

<sup>7</sup> Polímero de cloreto de polivinila.

mecanismos de impactação inercial, atração eletrostática, interceptação e movimento Browniano. Devido à força eletrostática, as partículas de poeira tendem a se aglomerarem e partículas menores se unem às partículas maiores sendo mais facilmente retidas na superfície do filtro do que as partículas isoladas. Na medida em que o filtro começa a ser carregado com poeira, o tamanho efetivo do poro decresce e a eficiência do filtro aumenta.

Raramente as partículas de poeiras se apresentam na forma esférica. A poeira de quartzo por exemplo, produzida em processos de cominuição, não tem forma geométrica definida. Assim, dependendo da projeção, as partículas podem apresentar uma área da seção maior do que o diâmetro esférico equivalente indica.

Outra característica apresentada pelo filtro de membrana de PVC, além do baixo índice higroscópico, é o baixo teor de cinzas. Após a pesagem, o filtro com seu conteúdo é calcinado em cadinho de porcelana a 800 °C, que decompõem qualquer material orgânico. A fim de aumentar a densidade e facilitar a análise por difração de raios-X, o material restante é recolhido sobre o filtro analítico de diâmetro de 25 mm.

#### **4.4 Análises laboratoriais**

Os principais métodos preconizados e validados pelo NIOSH para análise de sílica são aqueles que utilizam as técnicas de espectrometrias de difração de raios-X e por infravermelho e a espectrofotometria de absorção visível.

Dentre as três técnicas analíticas, a técnica adotada para determinação de sílica cristalina nas amostras coletadas foi a difratometria de raios-X por ser a técnica mais indicada devido a sensibilidade e especificidade. A difração de raios-X é capaz de distinguir os três polimórficos de sílica cristalina (quartzo, cristobalita e tridimita) e simultaneamente analisar os interferentes para cada polimórfico que podem estar presentes na amostra. Uma outra importante vantagem que essa técnica propicia é o tratamento não destrutivo dado para as análises das amostras. Embora a técnica preconizada para análises de sílica cristalina seja a difração de raios X, esse equipamento tem um alto custo inicial e requer pessoal técnico competente para operar.

Conforme Estados Unidos da América (2002), o método por infravermelho é menos específico que a difração de raios-X porque não consegue distinguir os polimórficos da sílica cristalina. Amostras que contém outros silicatos, caolinita e sílica amorfa por exemplo, podem dar uma interferência positiva na análise.

De acordo com Estados Unidos da América (2002), o método colorimétrico (espectrofotometria por absorção visível) para sílica cristalina (método 7601 do NIOSH), é significativamente menos preciso que os métodos de espectrometria de difração de raios-X e por infravermelho. Qualquer composto que contém silício é interferente na análise, já que a aplicação deste método é na determinação de silicatos.

A mesma qualidade deve ser mantida através de todo o processo de avaliação, desde o reconhecimento dos riscos até à interpretação final dos resultados. A precisão da balança analítica não pode compensar uma amostra coletada com uma bomba de amostragem descalibrada. Por outro lado, amostras coletadas com esmero seriam desperdiçadas, se a análise gravimétrica fosse executada em uma balança não aferida ou por pessoa negligente. A precisão e a exatidão da análise laboratorial seriam inúteis, se o equipamento de amostragem não fosse devidamente calibrado ou se apresentasse problemas de vedação no porta-filtro, o que alteraria o volume de ar amostrado. E resultados precisos, obtidos através de técnicas acuradas de amostragem e análise poderiam estar longe de serem representativos da exposição dos trabalhadores, se a estratégia de amostragem não tivesse sido bem planejada.

Portanto, todas as etapas da avaliação de riscos, inclusive a interpretação correta dos resultados, devem ser planejadas e executadas com a mesma prudência.

## **5 METODOLOGIA E AMOSTRAGEM**

### **5.1 Método**

O método utilizado foi o estudo de caso aplicado em uma pedreira produtora de brita na RMSP.

Conforme Lazzarini (1995), o método do estudo de caso é particularmente aplicável quando se deseja obter generalizações analíticas e não estatísticas, que possam contribuir para um certo referencial teórico. A pesquisa envolvendo estudo de caso, busca a forma de obter a retroalimentação para o corpo teórico que necessita ser aperfeiçoado. Esse método, em particular, torna-se potencialmente utilizável, pois não é possível obter-se um comportamento dos fenômenos ou controle dos eventos de forma precisa e sistemática. Segundo Bonoma (1985) apud Lazzarini (1995), o método do estudo de caso para fins de pesquisa encaixa-se bem em situações em que o fenômeno é abrangente e complexo.

Embora os resultados das concentrações de poeira se refiram somente à empresa avaliada, muito provavelmente podem-se inferir as conclusões para outras empresas de agregados da RMSP com características de materiais e processos semelhantes à estudada.

De posse de uma lista de empresas filiadas ao Sindicato da Indústria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo – SINDIPEDRAS, localizadas na RMSP, foi estabelecido um contato por meio de telefone com as empresas, solicitando-se a colaboração no sentido de se permitir a realização dos trabalhos de campo.

Das empresas perguntadas inicialmente, duas delas demonstraram interesse na proposta do trabalho.

Em face à dificuldade em se obter o consentimento das empresas para o desenvolvimento dos trabalhos de campo, não foi possível nenhuma opção em

termos de se selecionar as empresas conforme a estrutura organizacional, capacidade produtiva ou tipo de rocha minerada.

Neste trabalho, os dados de concentração de poeira contendo sílica cristalina foram obtidos em condições reais de trabalho, de uma empresa produtora de brita da RMSP.

No que se refere ao objetivo geral, este trabalho limita-se a estudar a concentração de poeira no ambiente de trabalho, sem a pretensão de efetuar um estudo detalhado da exposição ocupacional dos trabalhadores. Restringe-se à concentração de sílica cristalina que o trabalhador está exposto durante a execução da operação estudada, deixando-se de considerar outras variáveis, tais como diferentes atividades desempenhadas, horas extras e rodízio de tarefas.

As análises gravimétricas de poeira, e as análises quantitativas de sílica cristalina foram realizadas no Laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de Raios-X (LMGD) da Fundacentro<sup>8</sup>. É importante ressaltar que o LMGD é um laboratório credenciado pela American Industrial Hygienist Association (AIHA) para analisar amostras de poeira na faixa respirável contendo sílica cristalina.

As análises gravimétricas consistiram na pesagem do filtro de membrana antes e depois da coleta da poeira suspensa no ar, e posterior determinação da massa da amostra por diferença, considerando as variações ocorridas entre essas duas pesagens, conforme o Método de Ensaio NHO-03: Análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros de membrana, da Fundacentro (Santos; Amaral, 2001). Esse método determina a massa de qualquer tipo de material particulado que possa ficar retido sobre o filtro, não sendo específico para nenhum contaminante.

O equipamento utilizado para as análises gravimétricas foi a balança analítica marca Mettler, modelo H-54AR com precisão de 0,01 mg, visualizado na figura 16.

---

<sup>8</sup> Fundacentro – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho é entidade vinculada ao Ministério do Trabalho e Emprego, que foi instituída pela Lei nº 5.161 de 21 de outubro de 1966 e que tem como principal missão o desenvolvimento de estudos e pesquisas na área de segurança, saúde e meio ambiente no trabalho.



Figura 16- Balança analítica de precisão.

Para as análises quantitativas das amostras foi utilizado o difratômetro de raios-X, marca Philips, modelo PW-1710, equipado com tubo de cobre, monocromador de grafite e detector de cintilação, apresentado na figura 17.



Figura 17- Difratômetro de raios-X.

Para qualificação e quantificação da sílica cristalina presente nas amostras utilizou-se o método analítico MHA 01/D: Determinação quantitativa de sílica livre

cristalizada por difração de raios-X, da Fundacentro, que é o método 7500 do NIOSH adaptado (Anjos, 1989). O método foi desenvolvido para atender aos limites legais, sendo que a faixa de trabalho para o quartzo corresponde a 0,006 mg para o limite de detecção e 0,012 mg para o limite da quantificação. Esta metodologia também se mostrou adequada para quantificação da sílica proposta no TLV da ACGIH.

No total foram coletadas 12 amostras de poeira durante os cinco dias de campo e todas as amostras foram consideradas válidas para análise.

O método utilizado para a coleta de poeira no ambiente de trabalho seguiu a norma MB-3422: Agentes químicos no ar – coleta de aerodispersóides por filtração (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991).

A calibração das bombas de amostragem foi executada, utilizando-se a norma NBR – 105-62: Calibração de vazão pelo método da bolha de sabão, de bombas de baixa vazão utilizadas na avaliação de agentes químicos no ar (ABNT, 1988).

## **5.2 Materiais**

Os materiais utilizados para a coleta de poeira em campo foram: bombas de amostragem de uso individual marca Buck-Genie modelo VSS-5 calibradas na vazão de 1,7 L/min; ciclone de náilon tipo Dorr-Oliver; filtro de membrana de PVC com 37 mm de diâmetro e 5 µm de poro marca MSA tipo FWS-B; porta-filtro de três corpos de 37 mm de diâmetro com suportes de celulose marca Millipore tipo AP-10.

Embora os equipamentos utilizados dispusessem de sistema de fluxo constante, com precisão de 3%, a vazão das bombas foi verificada com um calibrador primário de vazão, marca Gilian, modelo Gilibrator-2, conforme apresentado na figura 18. Antes de serem utilizadas em campo, as bombas foram previamente calibradas no laboratório para vazão de 1,7 L/min, e após as amostragens foram conferidas para checar se a vazão estava se mantendo dentro da faixa de 3% de variação admitido. A média aritmética obtida entre a vazão inicial e a final de cada amostragem, dentro da variação de 3%, foi adotada para os cálculos da concentração de poeira.



Figura 18- Sistema de calibração da vazão da bomba de amostragem.

Para a medição da temperatura e da umidade relativa do ar nos postos de trabalho avaliados, foi utilizado o termohigrômetro marca Yichun, modelo HT-2106, visualizado na figura 19.

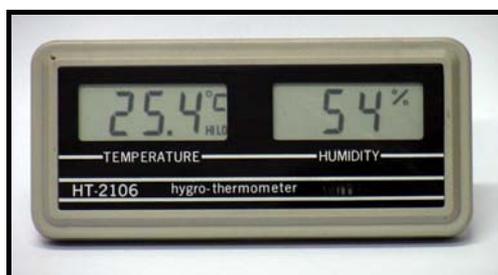


Figura 19- Termohigrômetro

A velocidade do ar no ambiente foi medida através do termoanemômetro marca Anemotherm - air meter, modelo 60 da Dynamics Corporation of America, calibrado antes do uso no próprio local. A figura 20 apresenta o termoanemômetro portátil utilizado nas medições de campo.



Figura 20- Termoanemômetro Anemotherm.

### 5.3 Coleta de amostras

Antes de iniciar a coleta de amostras em campo, foi realizada uma visita preliminar às instalações da empresa, com o propósito de se reconhecer o ambiente de trabalho para familiarização com os processos produtivos, identificação das operações que seriam avaliadas e também iniciar um contato com os trabalhadores, fornecendo informações sobre os objetivos e interesses do trabalho e quanto à metodologia a ser aplicada.

As amostras de poeira respirável foram obtidas junto aos trabalhadores nas operações da perfuração primária e secundária; carregamento e transporte de rochas e britagem.

Para a avaliação das atividades foi utilizada a amostragem individual, na qual o conjunto de amostragem foi instalado junto ao corpo do trabalhador, acompanhando-o durante o seu deslocamento na execução de suas tarefas. O dispositivo amostrador foi fixado na altura da zona respiratória do trabalhador, conforme exibido na figura 21.



Figura 21- Conjunto amostrador posicionado na zona respiratória do operador do britador.

Para as amostras obtidas das operações de perfuração, o trabalhador selecionado não foi necessariamente o mesmo. A coleta das amostras foi realizada ao longo da jornada de trabalho, porém durante o horário de almoço, o equipamento foi retirado do trabalhador e mantido desligado.

O tempo de coleta das amostras variou entre 3h20min e 6h28min, em função das atividades desempenhadas e das condições do processo produtivo.

As coletas foram realizadas durante os dias dos meses de fevereiro e março de 2003, cuja época do ano registrou uma precipitação pluviométrica média comparável aos meses anteriores do ano. Segundo os dados divulgados pela Prefeitura Municipal de São Paulo (2003), durante os meses de fevereiro e março foram registrados na subprefeitura de Jaçanã/Tremembé, região próxima à pedreira estudada, os índices pluviométricos de 137 mm e 99 mm respectivamente.

Nos dias 17 e 21 de março as condições meteorológicas apresentavam céu encoberto com chuviscos leves ocasionais, favorecendo a redução da concentração do material particulado gerado. A umidade relativa do ar nesses dias variou entre 52% e 67%, e a temperatura do ar variou entre 21 °C e 27 °C.

Nas coletas realizadas nos dias 13 e 27 de fevereiro e 20 de março, a temperatura do ar variou entre 25 °C e 40 °C, e a umidade relativa do ar situou-se em torno de 50%.

A dispersão dos materiais particulados na atmosfera é prejudicada pela topografia local e agravada pelas condições da cava da jazida. Durante os cinco dias em que foram coletadas as amostras de poeira, a velocidade do ar permaneceu estável, variando entre 0,05 m/s e 0,2 m/s.

Apenas a amostra do operador da pá carregadeira foi obtida em condições atmosféricas diferenciadas das demais, por ter sido coletada no interior da cabina que dispõe de ar condicionado, onde a temperatura do ar se manteve constante em 20 °C.

Os dados de campo referente à coleta de amostras e as medidas de controle de engenharia empregadas, assim como os equipamentos de proteção do trabalhador utilizados foram observados *in loco* e registrados em planilha, conforme modelo apresentado no Anexo A.

#### **5.4 Estratégia de amostragem**

Os procedimentos básicos adotados para o gerenciamento de riscos consistem em identificarem os perigos e avaliarem os riscos, adotarem medidas preventivas e monitorarem as ações estabelecidas, a fim de assegurarem que todos os trabalhadores permaneçam em ambientes seguros e saudáveis durante a vida laboral. Os riscos no ambiente de trabalho devem ser reconhecidos e avaliados, visando a sua eliminação ou redução. Para tanto, são desenvolvidas estratégias de avaliação da exposição dos trabalhadores que atendam aos seguintes propósitos:

- a) avaliar o potencial de riscos à saúde deparados pelos trabalhadores, diferenciar riscos aceitáveis de inaceitáveis e prevenir os riscos inaceitáveis;
- b) estabelecer um registro histórico dos níveis de exposição para os trabalhadores e informar e comunicar cada trabalhador quanto aos níveis da exposição a que estão submetidos;

- c) verificar a concordância com as NR da legislação ou outros padrões ocupacionais estabelecidos em acordos coletivos de trabalho;
- d) alocar os recursos necessários com eficiência para desenvolver as ações acima.

No processo da avaliação quantitativa da exposição ocupacional à sílica, são considerados a concentração da fração respirável da poeira, o teor de sílica cristalina, o tempo de exposição, as condições como estão sendo desempenhadas as tarefas e a respectiva comparação com um padrão.

Muitas vezes, porém, há situações em que a avaliação qualitativa do risco pode proporcionar uma base suficiente para agir diretamente nas medidas preventivas, não se justificando uma análise mais sofisticada do ambiente, para se obter dados mais exatos. A avaliação qualitativa dos riscos se vale mais da experiência do profissional e de seus conhecimentos sobre o assunto, quando ele faz, por exemplo, analogias com outras situações de exposição. Em lides jurídicas porém, é solicitada a comprovação quantitativa para verificar se os limites de tolerância foram mantidos ou ultrapassados.

Modelos matemáticos podem ser utilizados para estimarem exposições de populações que por qualquer razão não podem ser monitoradas diretamente ou também para estabelecerem prioridades para uma monitoração mais detalhada. Os modelos podem ser usados para estimarem exposições regressivas (históricas) e também para projetarem exposições futuras em situações hipotéticas. No entanto, os modelos matemáticos empregados na estimativa dos riscos são muito simples para refletirem a complexidade da situação real e têm precisão limitada. As simplificações também reduzem a capacidade dos modelos em predizerem detalhes de gradientes de concentrações no local de trabalho. Além de poderem conter suposições injustificáveis; os modelos também podem conter dados equivocados, produzindo assim, uma projeção completamente diferente do risco.

A estratégia de amostragem deve ser previamente planejada a fim de assegurar a representatividade da exposição dos trabalhadores. Para a definição da

estratégia, as principais decisões a serem tomadas se referem a como amostrar, onde amostrar; por quanto tempo amostrar e quantas amostras tomar.

O "como amostrar" vai depender dos propósitos da amostragem e da disponibilidade de equipamentos para amostragem; laboratórios equipados para realizar as análises e ainda de recursos humanos treinados para coleta das amostras.

Dependendo do objetivo da avaliação, a localização do equipamento é fundamental. Como a inalação é a principal via de ingresso da poeira no organismo, os resultados obtidos da coleta individual na zona respiratória refletem a exposição da substância no organismo. Neste caso, a coleta será realizada na altura da zona respiratória, que compreende a região do espaço de aproximadamente  $150 \pm 50$  mm a partir das narinas sob a influência da respiração. Se o objetivo for avaliar a eficiência de equipamentos de controle, o local para coleta das amostras deve ser o mais próximo desses dispositivos. As amostras obtidas próximas ao trabalhador, fora da zona respiratória, tendem a subestimar as exposições individuais, além de não proporcionarem uma boa estimativa da exposição.

O tempo de amostragem é outra questão importante a ser considerada na estratégia de amostragem. A duração da amostragem depende principalmente do tipo da ação fisiológica exercida pelo contaminante. Se uma substância exerce uma ação rápida no organismo, deve-se optar por equipamentos que detectem picos de concentração. No caso das poeiras contendo sílica, cujo efeito à saúde está associado com a exposição a longo prazo, os limites de exposição são apresentados como concentrações médias ponderadas por oito horas. Nestes casos, uma amostragem contínua, de preferência cobrindo a jornada completa de 8 horas é recomendada. Exposição crônica durante meses e anos, de agentes que são acumulativos, são mais bem caracterizados pela média de longa duração. Porém, informações sobre concentrações de pico no processo com exposição de curta duração, podem ser necessárias para aplicação de medidas preventivas.

O número de amostras requerido depende da variabilidade da concentração no ambiente entre os dias e durante os dias, da variação da própria amostragem e do método analítico utilizado. Deste modo, a amostragem pode cobrir o período

completo da jornada de trabalho com amostra única, ou com amostras consecutivas de período completo (duas ou mais amostras de mesma ou diferentes durações), ou a amostragem cobre parte da jornada de trabalho com amostras consecutivas de período parcial. Não há regras estabelecidas para se determinar o número de amostras, sendo predominante à ponderação do profissional em selecionar o número mais adequado. Outro aspecto que também deve ser levado em consideração quanto ao número de amostras é a possibilidade de se tomar decisões erradas a partir dos dados obtidos.

Para Hawkins; Norwood; Rock (1991), quando um grupo de trabalhadores está exposto às mesmas condições ambientais, mesmo grupo de agentes, ou seja, quando o perfil de exposição é similar, então a escolha dos que constituirão a amostra pode ser feita ao acaso. Essa condição é denominada de Grupo Homogêneo de Exposição (GHE). O grupo é homogêneo no sentido de que a distribuição de probabilidade de exposições é a mesma para todos os membros do grupo - todos os membros do grupo não precisam ter necessariamente, exposições idênticas no mesmo dia. Os resultados obtidos do GHE são aplicados a todos indivíduos do GHE.

Leidel; Busch; Lynch (1977) recomendam que após a definição dos GHE, quando há suspeita de exposição do grupo acima do nível de ação, deve-se primeiramente avaliar o indivíduo mais exposto. Embora não se conheça de antemão qual é o indivíduo mais exposto, freqüentemente é possível identificar este trabalhador, se forem observados à distância em relação à fonte, as práticas de trabalho, a mobilidade dos trabalhadores, o tempo de permanência nas piores condições, eventuais mudanças na movimentação do ar e condições de ventilação no local de trabalho, e como estes fatores estão inter-relacionados. Se o resultado para o trabalhador supostamente identificado como o mais exposto estiver abaixo do nível de ação, pode-se estender essa conclusão aos demais trabalhadores do GHE, caso contrário maior número de avaliações é necessário.

Sempre que os conhecimentos técnicos e a experiência profissional forem insuficientes para identificar o trabalhador exposto às piores condições, em termos de concentração ambiental, se utiliza uma seleção randômica de vários trabalhadores. A fim de minimizar a amostra requerida, mas mantendo os graus de confiança de que

pelo menos um trabalhador de risco máximo será incluído, Leidel; Busch; Lynch (1977) desenvolveram a tabela 6. O número de amostras requeridas "n", de um total de trabalhadores da população "N" pode ser estimado utilizando esta tabela.

**Tabela 6** - O tamanho da amostra parcial necessária com 90% de confiança em selecionar um trabalhador que esteja no subgrupo dos 10% mais expostos.

<b>Tamanho do Grupo (N)</b>	<b>Número Requerido de Amostras (n)</b>
<8	n = N
8	7
9	8
10	9
11-12	10
13-14	11
15-17	12
18-20	13
21-24	14
25-29	15
30-37	16
38-49	17
50	18
>50	22

Fonte: Leidel; Busch; Lynch (1977).

A tabela proposta por Leidel, Busch e Lynch (1977) serve para selecionar aleatoriamente o número de trabalhadores a serem amostrados, com 90% de confiança de que no mínimo um indivíduo entre os 10% mais expostos estará incluso no processo de avaliação. Isto quando não for possível identificar o trabalhador mais exposto. A mesma tabela também consta do Quadro I anexo à NR-22 – "Número de trabalhadores a serem amostrados em função do número de trabalhadores do Grupo Homogêneo de Exposição", no entanto, o conceito utilizado não é o mesmo, pois utiliza a tabela para determinar o número mínimo de amostras a serem tomadas de grupo homogêneo. Se o grupo é estatisticamente homogêneo, significar dizer que possui a mesma distribuição de probabilidades de se expor a um determinado agente, e o que possibilita um menor número de amostras que o proposto pela tabela. No nosso entender, o Quadro 1 anexo à NR-22 merece uma revisão pois não está

coerente segundo Leidel; Busch; Lynch (1997), e que conseqüentemente implica em um maior número de amostras e portanto envolve custos operacionais de coleta e análise adicionais.

Em todos os casos, conforme Leidel; Busch; Lynch (1977), deve-se evitar cair num jogo de números e manter o foco no que efetivamente os dados representam em relação à exposição do trabalhador. Se com uma amostra apenas for evidenciada que a concentração está muito acima do limite ou muito abaixo do nível de ação, qualquer refinamento na estratégia de amostragem não irá alterar este fato nem proteger o trabalhador.

## **5.5 Tomada de decisão**

Segundo Hawkins; Norwood; Rock (1991), dois aspectos são considerados no processo de tomada de decisão para se determinar se as condições de exposição são aceitáveis. Esses aspectos são os quantitativos e os qualitativos; ou seja, a análise estatística e o julgamento profissional.

A aceitabilidade da exposição ocupacional está condicionada a três alternativas possíveis:

- a) a exposição estar abaixo do nível de ação;
- b) a exposição estar acima do nível de ação, implicando em ações preventivas ou corretivas;
- c) os dados serem insuficientes para a tomada de decisão (caso o controle de qualidade demonstrar que os dados obtidos estão incompletos ou errados).

Nos três casos, as ações podem se basear em testes estatísticos, julgamento profissional ou na combinação de ambos.

### **5.5.1 Análise estatística**

A estatística é um instrumento muito útil e bastante aplicável nas práticas de SST. Há duas classes estatísticas utilizadas: a estatística paramétrica e a não-paramétrica.

A estatística paramétrica é a mais comum, mas também requer mais suposições. A hipótese utilizada pelo método paramétrico se baseia no fato de a forma verdadeira da distribuição da probabilidade da exposição é conhecida. Frequentemente esta hipótese é incorreta e os dados são insuficientes para verificarem a distribuição assumida.

A estatística não-paramétrica assume que os dados não têm uma forma de distribuição e tendem a focar mais as medições medianas e outros percentis. Nesses casos, a fórmula empregada para o cálculo da média de exposição, utilizando uma distribuição log-normal são os limites de confiança.

Segundo Hawkins; Norwood; Rock (1991), a exposição média de longo prazo é a mais relevante para o cálculo da dose ou exposição para as substâncias que têm ação crônica sobre o organismo, como a sílica ou chumbo, que são bioacumulativos. Conhecer picos de exposição à poeira é menos significativo, pois a média aritmética sumariza a massa total absorvida pela pessoa.

### **5.5.2 Julgamento profissional**

É um termo que se refere à capacidade de um profissional experimentado em emitir inferências de dados objetivos com base em observações subjetivas, analogias e pela própria intuição. Ou seja, é a integração dos conhecimentos acerca dos processos, das operações realizadas e da condição ambiental, somada aos resultados obtidos das medições, culminando com a avaliação do risco da exposição.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1 Resultados obtidos

Na tabela 7 são apresentados os dados referentes às amostragens, agrupados de acordo com a atividade, com o respectivo tempo e volume de amostragem, e as análises laboratoriais (Anexo B) obtidas na pedreira objeto de estudo.

**Tabela 7** – Dados das amostragens, massa e porcentagem de quartzo na poeira.

Data da coleta	Código do filtro	Atividade	Tempo de amostragem (min)	Volume amostrado (m <sup>3</sup> )	Massa de poeira amostrada (mg)	% Quartzo
13/02	BJ-49	marteleiteiro	200	0,3432	1,29	17,8
27/02	BJ-53	marteleiteiro	270	0,4609	1,06	14,2
13/02	BJ-48	operador do britador	207	0,3519	0,51	19,6
27/02	BJ-50	operador do britador	216	0,3700	0,27	14,8
17/03	BJ-55	operador do britador	388	0,6635	0,40	20,0
20/03	BJ-61	operador do britador	375	0,6412	0,51	23,5
27/02	BJ-51	operador da perfuratriz	306	0,5202	0,82	20,7
27/02	BJ-52	operador da perfuratriz	241	0,4121	0,24	29,2
21/03	BJ-58	operador da perfuratriz	284	0,4856	0,25	12,0
21/03	BJ-59	operador da perfuratriz	306	0,5263	0,29	13,8
27/02	BJ-54	motorista do caminhão	230	0,3903	0,10	<2,6
20/03	BJ-60	operador da pá carregadeira	339	0,5797	0,03	massa insuficiente

Na tabela 8 são apresentados os dados referentes às concentrações de poeira das amostras agrupadas por atividade, o Limite de Tolerância para poeira respirável conforme estabelecido no Anexo 12 da NR-15, o nível de ação (50% do LT) e o risco de exposição relativo ao LT.

**Tabela 8** – Tabela comparativa entre o valor da concentração de poeira com o Limite de Tolerância, Nível de Ação e o Risco.

<b>Código do filtro</b>	<b>Atividade</b>	<b>Concentração de poeira (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Limite de Tolerância (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nível de Ação (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>RISCO<sup>9</sup></b>
BJ-49	marleteiro	<b>3,76*</b>	0,40	0,20	<b>9,4*</b>
BJ-53	marleteiro	<b>2,30*</b>	0,49	0,25	<b>4,7*</b>
BJ-48	operador do britador	<b>1,45*</b>	0,37	0,19	<b>3,9*</b>
BJ-50	operador do britador	<b>0,73*</b>	0,48	0,24	<b>1,5*</b>
BJ-55	operador do britador	<b>0,60*</b>	0,36	0,18	<b>1,7*</b>
BJ-61	operador do britador	<b>0,79*</b>	0,31	0,16	<b>2,5*</b>
BJ-51	operador da perfuratriz	<b>1,58*</b>	0,35	0,18	<b>4,5*</b>
BJ-52	operador da perfuratriz	<b>0,58*</b>	0,26	0,13	<b>2,2*</b>
BJ-58	operador da perfuratriz	0,51	0,57	0,29	0,9
BJ-59	operador da perfuratriz	<b>0,55*</b>	0,51	0,26	<b>1,1*</b>
BJ-54	motorista do caminhão	0,26	1,74	0,87	0,1
BJ-60	operador da pá carregadeira	0,05	—	—	—

Na coluna Concentração de Poeira estão destacados com asterisco os valores que ultrapassam o Limite de Tolerância e na coluna RISCO os valores que excedem o LT.

<sup>9</sup> O termo RISCO constante nas Tabelas 8 e 9 expressa um Índice de Risco.

**Tabela 9** - Tabela comparativa entre o valor da concentração de quartzo com o TLV e o Risco.

<b>Código do filtro</b>	<b>Atividade</b>	<b>Massa de quartzo (mg)</b>	<b>Concentração de quartzo (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>TLV<sup>10</sup> (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>RISCO</b>
BJ-49	marleteiro	0,23	<b>0,67*</b>	0,04	<b>16,8*</b>
BJ-53	marleteiro	0,15	<b>0,32*</b>	0,04	<b>8*</b>
BJ-48	operador do britador	0,10	<b>0,28*</b>	0,04	<b>7*</b>
BJ-50	operador do britador	0,04	<b>0,11*</b>	0,04	<b>2,8*</b>
BJ-55	operador do britador	0,08	<b>0,12*</b>	0,04	<b>3*</b>
BJ-61	operador do britador	0,12	<b>0,19*</b>	0,04	<b>4,8*</b>
BJ-51	operador da perfuratriz	0,17	<b>0,33*</b>	0,04	<b>8,3*</b>
BJ-52	operador da perfuratriz	0,07	<b>0,17*</b>	0,04	<b>4,3*</b>
BJ-58	operador da perfuratriz	0,03	<b>0,06*</b>	0,04	<b>1,5*</b>
BJ-59	operador da perfuratriz	0,04	<b>0,08*</b>	0,04	<b>2*</b>
BJ-54	motorista do caminhão	<0,01	<0,03	0,04	—
BJ-60	operador da pá carregadeira	—	—	0,04	—

Na coluna Concentração de Quartzo estão destacados com asterisco os valores que ultrapassam o TLV e na coluna RISCO os valores que excedem o limite de exposição.

## 6.2 Discussão dos resultados

Nas tabelas 8 e 9 são comparados os valores das concentrações de poeira com o LT estabelecido na NR-15 e com o nível de ação, e as concentrações de quartzo com o TLV preconizado pela ACGIH respectivamente.

<sup>10</sup> Valor do TLV corrigido segundo Brief e Scala para jornada de trabalho de 48 horas semanais.

O parâmetro da ACGIH foi adotado porque além de ser mais restritivo que o limite de tolerância, é referência para o estabelecimento de medidas preventivas.

Os Riscos foram obtidos pela relação da equação (17), dividindo-se a concentração de poeira pelo LT e a concentração de quartzo pelo TLV respectivamente.

Todas as amostras foram analisadas por gravimetria, entretanto, não foi possível a quantificação de sílica cristalina da amostra BJ-60, porque a massa obtida foi insuficiente e o método analítico possui sensibilidade somente para amostras com massa acima de 0,10 mg.

O fato da amostra BJ-60 apresentar massa insuficiente para análise, mesmo cobrindo 70% da jornada de trabalho, foi devido a condição da amostragem ser realizada dentro da cabina fechada da pá carregadeira, equipada com ar condicionado, numa condição isolada do ambiente externo.

Embora a amostra BJ-54, obtida junto ao motorista do caminhão caçamba, apresentasse valores de concentração de poeira abaixo do nível de ação, ela não foi considerada representativa da exposição. A baixa concentração de poeira foi causada pela paralisação da atividade do motorista do caminhão, provocada pela interrupção da britagem, o que motivou o desligamento do equipamento de coleta mesmo antes de completar 50% da jornada de trabalho. A cabina deste caminhão era do tipo comum, sem sistema de ar condicionado.

Dentre as atividades amostradas, as maiores concentrações de poeira foram observadas na perfuração secundária, junto ao marteteiro. Esta operação é realizada a seco, sem nenhuma medida de prevenção coletiva para redução da geração de poeira. Além da poeira provocada por esta operação (maior concentração obtida de  $3,76 \text{ mg/m}^3$ ), o operador do martete também está exposto simultaneamente ao ruído e vibração provocados pelo próprio equipamento, respingos de óleo mineral, cujos riscos de exposição podem acarretar outros problemas ocupacionais. Essa não é a única atividade na pedreira onde os trabalhadores estão expostos simultaneamente a vários agentes, mas a nosso ver, é a condição de trabalho mais agressiva e penosa observada. Os trabalhos são realizados ao ar livre, havendo exposição de carga solar.

A furação com o martetele exige do trabalhador um bom equilíbrio físico para permanecer em pé sobre as superfícies irregulares das rochas e também para transportar o equipamento, que pesa em torno de 30 kg. É importante ressaltar que a operação com o martetele é mobilizada em função do resultado da execução do plano de fogo. Ou seja, essa atividade não é necessariamente executada diariamente e nem sempre durante a jornada inteira. Assim, considerando as amostras dos marteteleiros BJ-49 e BJ-53, e admitindo a hipótese de que a concentração de poeira seria zero no restante do tempo para jornada normal de 8 horas diárias, mesmo assim a concentração média ponderada estaria acima do LT. Para a amostra BJ-49 temos que:

$$\text{Concentração média ponderada} = \frac{(C_1 \times t_1) + (C_2 \times t_2)}{(t_1 + t_2)} \quad (18)$$

sendo que  $C_1$  indica a concentração de poeira obtida no tempo  $t_1$  e  $C_2$  a concentração de poeira no tempo  $t_2$ ,

$$\text{Concentração média ponderada} = \frac{(3,76 \times 200) + (0 \times 280)}{480} = 1,57 \text{ mg/m}^3 \quad (19)$$

Portanto, para esta situação a concentração média ponderada obtida pela equação (19) continuaria acima do LT de  $0,40 \text{ mg/m}^3$ .

Nas operações que utilizam a carreta de perfuração pneumática, as amostras apresentaram as maiores e também as menores porcentagens de sílica respirável; variando entre 12% e 29,2% de sílica para as amostras BJ-58 e BJ-52 respectivamente. Essa variação em mais de 100%, pode ser justificada, principalmente pela composição mineralógica bastante variável. Em decorrência dessas diferenças, também as texturas cristalinas são influenciadas, alterando as propriedades físicas das rochas, podendo apresentar diferentes resistências à furação e ao esmagamento e conseqüente geração de poeira nos processos subseqüentes da lavra.

É importante observar que as amostras BJ-58 e BJ-59, referentes aos operadores das perfuratrizes, foram coletadas ao ar livre e em condições meteorológicas favoráveis à redução da concentração de poeira, por apresentar

chuviscos ocasionais. A produção média de cada perfuratriz observada manteve-se em nove furos por dia e a operação não era realizada todos os dias. Das quatro amostras obtidas das carretas de perfuração pneumáticas, três perfuratrizes possuíam sistema para umectação da poeira, e para uma amostra (filtro BJ-52), havia o controle de poeira por sistema de ventilação local exaustora com coifa envolvendo a haste de perfuração e ciclone para coleta das partículas. No método a úmido, a água é introduzida na forma de névoa no jato de ar de limpeza do furo, promovendo a aglomeração das partículas de poeira e formando grânulos que saem pelas laterais do furo.

Na atividade da britagem os dados foram obtidos em quatro dias diferentes, sob condições meteorológicas e de produção diferentes, e mesmo assim todas as amostras apresentaram concentrações de poeira acima do LT. Embora a concentração mais baixa na britagem tenha sido a da amostra BJ-55, obtida em dia nublado com chuviscos ocasionais, esta também ultrapassou o LT. A produção do britador não é contínua e freqüentemente se observou a obstrução da câmara de britagem provocada pelos matacos, com produção média diária durante os dias amostrados estando entre 3.000 t e 5.000 t. Poeira não é apenas gerada no processo da britagem, mas também no descarregamento das rochas pelo caminhão na alimentação do britador e quando o material britado é lançado nas pilhas de estocagem. O controle da poeira na britagem é realizado por meio de bicos aspersores de água posicionados antes e após a britagem para umedecimento da rocha. Esse processo de aspersão de água não é contínuo, e o acionamento do sistema é realizado pelo operador do britador que segue seu próprio julgamento pessoal, e também porque o excesso de água gera uma lama que impregna a correia transportadora e dificulta a sua movimentação.

Embora os resultados apresentassem uma variação na ordem de três vezes à concentração (para a operação da perfuratriz) não foi aplicado nenhum tratamento estatístico para determinar os limites de confiança que contenha o valor verdadeiro da exposição, porque os dados estão fora do intervalo entre o nível de ação e o limite de tolerância.

## 7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

### 7.1 Riscos da exposição

O estudo realizado permitiu avaliar as concentrações de poeira respirável contendo sílica cristalina em algumas operações do processo produtivo de brita.

Os resultados das concentrações de sílica cristalina obtidos apresentam fortes evidências de que o ambiente de trabalho é inadequado para os trabalhadores, com exceção do ambiente da cabina da pá carregadeira.

No cenário no qual o estudo foi realizado, o risco ocupacional à poeira respirável que contém sílica cristalina, é considerado inaceitável no sentido de ser inconsistente com as definições, apresentadas neste texto nas páginas 23 e 24, sobre o limite de exposição. No entanto, isso não significa que todos que ficarem expostos acima do limite de exposição necessariamente ficarão doentes. Do mesmo modo, não significa que todos que ficarem expostos abaixo do limite de exposição estão seguros e isentos de quaisquer efeitos adversos à saúde. Sendo que a aceitabilidade do risco de exposição é subjetiva, sua utilização é empregada como guia relativo ao nível de proteção, ou também, em última análise, uma opção.

Os limites de exposição, além das limitações apontadas anteriormente nas páginas 25 e 26, em geral não consideram a exposição aos vários agentes que ocorrem simultaneamente no ambiente de trabalho, sejam eles físicos, químicos, biológicos, psicossociais ou ergonômicos, hábito de fumar, tratamentos medicamentosos, ingestão de bebida alcoólica, fatores genéticos e estados nutricionais. Em decorrência dessas limitações, a suscetibilidade individual à exposição profissional pode ser alterada, e com isso advirem outros tipos de efeitos (aditivos, sinérgicos, potencializadores, independentes ou antagônicos). Conseqüentemente, os resultados de controles médicos podem variar consideravelmente entre pessoas expostas às mesmas concentrações. No entanto, ainda não é possível avaliar cientificamente a exposição do trabalhador em um ambiente de trabalho com todas as suas inter-relações. Por isso a participação dos trabalhadores, com seus diferentes valores de julgamento, tornam o processo de

avaliação do risco mais eficaz a fim de se definir qual é o nível de aceitabilidade possível.

O que garante que os limites de exposição protegem suficientemente os trabalhadores? Segundo Estados Unidos da América (2002), três estudos epidemiológicos recentes demonstraram que o risco estimado de silicose para um tempo de trabalho de 45 anos é de 47% a 90% para exposições de sílica iguais aos limites de exposição da OSHA, (cujo limite é igual ao estabelecido pela NR-15 com as correções de tempo de jornada), e aproximadamente de 10% a 30% às concentrações iguais ao limite recomendado de exposição do NIOSH ( $0,05 \text{ mg/m}^3$ ). Os resultados destes estudos confirmaram a necessidade de se continuar com as pesquisas médicas e epidemiológicas dos trabalhadores e também de se rever os limites de exposição.

Não basta apenas o enfoque técnico na avaliação de riscos, é preciso também a sensibilização e negociação de todas as partes envolvidas e interessadas. Ainda que o próprio trabalhador considere que a pior condição à saúde e segurança é deixar de ser trabalhador, há de se ponderar que deve caber também a este o direito à participação e à informação sobre as possíveis conseqüências de sua exposição a fim de que possa incorporar sua percepção ao processo de decisão dos riscos.

Sob o aspecto da justiça social, é inaceitável o sofrimento humano decorrente do trabalho. Além disso, há consideráveis perdas econômicas e financeiras para a Previdência Social, relativas a auxílios doença, invalidez e pensões. Todas essas conseqüências adversas, que são economicamente custosas tanto para o empregador como para a sociedade em geral, podem ser evitadas através da promoção e implementação de medidas preventivas eficientes, integradas com outros programas preventivos de riscos para saúde e segurança do trabalho, de manutenção dos equipamentos, incluindo a melhoria contínua.

## **7.2 Considerações sobre as medidas de controle**

Nos processos produtivos onde ocorrem a geração e dispersão de poeira de sílica cristalina, o controle da exposição deveria ser considerado prioridade para as

empresas e para os trabalhadores, assim como para a sociedade em geral, face a propriedade carcinogênica da sílica e a silicose ser uma doença irreversível.

O PPRA da NR-9 tem como premissa promover o desenvolvimento e a implantação de medidas preventivas de caráter coletivo para o controle do risco. Este programa estabelece uma ordem hierárquica priorizando as medidas mais efetivas e permanentes em relação àquelas passíveis de se alterarem ou se transformarem ao longo do tempo. Assim, as medidas que eliminam ou reduzem os riscos através de controle de engenharia, alterando o ambiente de trabalho de forma permanente, incluindo processos e equipamentos, e que dispensam a necessidade de uma opção ou decisão por parte do trabalhador para controlar o risco, são medidas preventivas preferenciais.

As medidas de controle de engenharia observados para redução da poeira na pedreira consistem em métodos de umedecimento e de ventilação local exaustora na perfuração primária da rocha, aspersão de água diretamente sobre as rochas na britagem e nas vias de transporte, e enclausuramento (cabina com ar condicionado) nas máquinas de carregamento e caminhões de transporte.

Um dos meios prevaletentes na redução da poeira na mineração a céu aberto é a aspersão de água. A redução da geração e dispersão da poeira ao longo das vias de transporte é promovida pela aplicação direta da água sobre o leito por meio de caminhão-tanque. No entanto, a aplicação excessiva da água pode deixar o leito escorregadio e também provocar erosão e acidente. Porém, a aspersão com água promove um efeito positivo temporário apenas, pois quando a água evapora, transforma o acesso em fonte secundária de geração de poeira.

Conforme evidenciado no resultado da concentração de poeira obtida junto ao operador do britador, apresentado nas tabelas 8 e 9 das páginas 70 e 71, o processo de umedecimento através de bicos aspersores mostrou-se ineficiente para o controle da poeira na fração respirável.

A redução da concentração de partículas respiráveis empregando métodos de borrifos de água não é um processo simples de controle. Mais importante que o uso de grande quantidade de água, é o projeto e o posicionamento adequados dos bicos aspersores. A eficiência da cortina de névoa é aumentada pela atomização da água no

fluxo de ar através do aspersor e pela adição de agentes umectantes à água. Um problema observado foi a utilização da água diretamente de nascentes ou lagoas naturais sem nenhum tratamento prévio. Devido à presença de materiais sólidos em suspensão, os bicos aspersores freqüentemente entopem, demonstrando a necessidade de instalação de filtros na linha de água para se evitar entupimentos e se manter a pressão de água constante na linha. Além dos entupimentos, também é importante a proteção dos bicos contra choques mecânicos provocados pela projeção das pedras.

Uma das tecnologias aplicadas para redução da exposição à poeira na lavra de brita consiste na perfuração a úmido, que surgiu nos países desenvolvidos durante a primeira metade do século passado. No entanto, o que comumente ocorre, e também foi observado, é que esses dispositivos de controle são ineficientes porque estão em condições inadequadas de operação por ausência de programa de manutenção preventivo e/ou por falhas de procedimentos operacionais. Na perfuração a úmido, o sistema de injeção de água deve ser balanceado de forma a não entupir os furos com a lama formada devido o excesso de água, nem ser ineficiente pela falta de água. Até mesmo em condições atmosféricas apresentando chuviscos ocasionais, as perfuratrizes providas de sistema de umidificação mostraram-se ineficientes, proporcionando concentrações de poeira respirável acima dos limites de exposição.

Quanto às atividades de movimentação e transporte, a cabina com ar condicionado mostrou ser a medida tecnológica de controle mais eficiente. É importante frisar que as medições foram feitas em máquinas novas, com uma semana de uso. A implantação de um programa de manutenção mecânica preventiva, associado a um programa de monitoramento periódico da poeira, irá assegurar a conservação das condições originais.

Outras medidas de controle preventivas de caráter administrativo ou de organização do trabalho incluem: formação, informação, treinamento e comunicação de riscos à saúde; controle médico; asseio pessoal e das roupas de trabalho; EPI e limitação do tempo de exposição.

Uma prática imprópria observada em um dos operadores da perfuratriz foi o uso do ar comprimido para limpeza de seu uniforme. As vestimentas utilizadas pelo pessoal da área produtiva também não eram apropriadas ao tipo de atividade. O modelo de uniforme mais adequado deveria ser confeccionado sem gola, bolsos, pespontos e pregas de tal forma que reduza o acúmulo de poeira. Outro aspecto relevante quanto ao uniforme, é que a empresa deveria dispor de meios para limpeza e lavagem das vestimentas de trabalho, evitando que o trabalhador transporte para a sua casa a roupa contaminada e estas se tornem fontes secundárias de contaminação.

A atividade mineira tem investido em técnicas de alta eficiência na exploração de recursos minerais, no entanto, a tecnologia para o controle da poeira não tem sido aplicada na mesma intensidade. Assim, ainda há muito por fazer para diminuir esta defasagem. A forma mais barata ou mais conveniente ainda é a utilização de EPI, ou seja, uma medida de uso pessoal. Observou-se que os trabalhadores da área produtiva da pedreira usavam respirador purificador de ar do tipo peça semifacial filtrante para partículas (PFF2), da marca 3M, modelo 8822, recomendável para nível de exposição até dez vezes o LT. Porém, a proteção respiratória não deveria valer-se deste método para a prevenção da exposição. O uso de respiradores como medida de controle pessoal, é recomendado quando as técnicas de controle de engenharia (enclausuramento, ventilação, umidificação) não forem viáveis, ou enquanto estão ainda sendo implantadas (conforme NR-6). Como último recurso, ou para operações temporárias ou esporádicas realizadas para manutenção, ou quando outras medidas de prevenção primária não são factíveis, então a proteção respiratória pode ser empregada, sendo de fundamental importância a sua qualidade, eficiência, adaptação ao rosto do trabalhador, e também a manutenção adequada e periódica. Se forem seguidos *ipsis litteris* e aplicadas na íntegra todas as recomendações e procedimentos operacionais descritos no Programa de Proteção Respiratória, pode-se conseguir uma redução da concentração de poeira inalada da ordem de até dez vezes (Torloni, 2002). Ainda assim, na perfuração secundária utilizando o martetele pneumático manual, as concentrações resultantes com o uso de EPI estariam muito próximas do LT, evidenciando que esse tipo de equipamento é inadequado. A utilização de respirador como equipamento de proteção respiratória é uma medida paliativa, impondo restrições individuais, por vezes desconfortáveis, e

com eficiência questionável, pois depende fundamentalmente do comportamento individual para o uso correto desse equipamento.

Nas pedreiras de brita, o risco da exposição à poeira respirável contendo sílica não acontece por acidente tecnológico ou intervenção não planejada, mas ocorre de forma contínua e constante. Note-se que o volume de ar inspirado na respiração está diretamente relacionado com o trabalho físico, assim a absorção de substâncias químicas também aumenta com o esforço despendido no trabalho. Portanto, quanto maior for o tempo de exposição, ou o contato da fonte de perigo com a pessoa, maior será o risco. Nesse caso a redução do tempo de jornada de trabalho, ao invés de horas extras, seria uma medida de controle administrativo que corrobora na prevenção. Quanto à questão das horas extras, é importante que representantes da empresa e dos trabalhadores, através da CIPAMIN, discutam esse tema com mais atenção, visto que as alterações na organização do trabalho são essenciais para a precaução da silicose.

### **7.3 Alternativas para melhoria das condições de trabalho**

O desmonte secundário utilizando o fogacho é prática usual adotada nas pedreiras para a fragmentação de matacos. Como essa operação acarreta vários riscos aos trabalhadores expostos, é produtora que sejam buscadas alternativas que reduzam ou eliminem essa prática. A necessidade do desmonte secundário pode ser bastante reduzida por meio da otimização do plano de fogo, que pode ser empreendida com auxílio dos seguintes elementos:

- a) correto dimensionamento da malha de perfuração;
- b) controle que impeça os desvios dos furos durante a perfuração;
- c) adoção de razão de carregamento adequada e
- d) correta utilização de acessórios.

Para a fragmentação dos matacos eventualmente gerados pelo desmonte primário, pode-se adotar algumas das técnicas seguintes:

- a) rompedor hidráulico;
- b) drop-ball;
- c) material expansivo e
- d) plasma.

A finalidade da pedreira é produzir brita e, em decorrência dessa produção, surgem os problemas da exposição à poeira. No entanto, o ônus para prevenir e reduzir a geração de poeira não deveria estar restrito somente ao empreendimento mineiro numa forma isolada. Os fabricantes de perfuratrizes e britadores também deveriam participar e estar comprometidos com essa problemática. Uma ação preventiva antecipada, apesar de nem sempre representar o menor custo financeiro inicial, é uma boa alternativa para o controle dos riscos. Uma das possíveis formas para estimular essa questão poderia ser através de "certificado de desempenho" fornecido aos fabricantes de equipamentos, em termos quantitativos de emissão de poeira para o ambiente.

## **ANEXO A – Folha de Campo**

<b>Empresa:</b>	
<b>Área/Setor:</b>	<b>Ambiente:</b> <input type="checkbox"/> Aberto <input type="checkbox"/> Fechado <input type="checkbox"/> Coberto

<b>T r a b a l h a d o r</b>	
<b>Nome:</b>	
<b>Função:</b>	<b>Tipo de Atividade:</b>

<b>A m o s t r a g e m</b>			
<b>Local:</b>	<b>Data da Coleta:</b>	<b>Data de envio lab:</b>	
<b>Tipo de Coleta:</b> <input type="checkbox"/> Individual <input type="checkbox"/> Ambiental <input type="checkbox"/> Rastreamento <input type="checkbox"/>			
<b>nº do cassete:</b>	<b>Bomba:</b>	<b>nº do branco:</b>	<b>Possíveis Interferências:</b>

<b>Ligado:</b>	<b>Ligado:</b>	<b>Ligado:</b>	<b>Vazão inicial:</b>
<b>Desligado:</b>	<b>Desligado:</b>	<b>Desligado:</b>	<b>Vazão final:</b>
<b>Tempo:</b>	<b>Tempo:</b>	<b>Tempo:</b>	<b>Tempo total(min):</b>
<b>Tempo de Exposição:</b>		<b>Jornada:</b>	

<b>Operações avaliadas durante a amostragem</b>

<b>Descrição das Operações (localização/tempo/frequência)</b>

<b>Observações (medidas de controle, ventilação, EPI)</b>

<b>Condições Meteorológicas</b>			
<input type="checkbox"/> sol	<input type="checkbox"/> nublado	<input type="checkbox"/> chuva	<input type="checkbox"/> vento    direção vento
<b>Pressão atmosférica</b>	<b>Temperatura Ar</b>	<b>Umidade relativa do ar(%)</b>	<b>Responsável pela Amostragem:</b>

<b>Observações Gerais:</b>

## **ANEXO B – Resultado das Análises Laboratoriais**



<b>RESULTADO DE ANÁLISE DE SÍLICA LIVRE CRISTALIZADA</b>	Nº 00423 Folha 01/02
--	-------------------------

<b>SOLICITANTE</b>			
UNIDADE REGIONAL Laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de Raios-x			
TÉCNICO SOLICITANTE Gerrit Gruenzner	DATA DE COLETA DAS AMOSTRAS 13/02; 27/02; 17/03 20/03 e 21/03/2003	DOCUMENTO DE REFERÊNCIA Solicitação de análise	DATA DA ENTRADA 24/03/2003
MATERIAL RECEBIDO  12 amostras ambientais de poeira coletadas sobre filtros-membrana de PVC, pré-pesados, preparados e codificados pelo Laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de Raios X da CHT/FUNDACENTRO/CTN, recebidas para análise, não apresentando danos ou sinais de violação.			
LOCAL DA COLETA  Pedreira B			
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES  Rocha Granítica			

<b>PROCEDIMENTOS ADOTADOS</b>
1. Métodos analíticos utilizados: NHO-03: Análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros de membrana. MHA -01/D: Determinação Quantitativa de Silica Livre Cristalizada por Difração de Raios X
2. As amostras são guardadas por 6 meses a partir da data da emissão dos resultados. Quaisquer retestes devem ser solicitados dentro deste prazo.

**RESULTADO DE ANÁLISE DE SÍLICA LIVRE  
CRISTALIZADA**Nº 00423  
Folha 02/02

LOCAL/PONTO/FUNÇÃO	CÓD. DO FILTRO	TIPO DE POEIRA	MASSA (mg)	SÍLICA (mg)	SÍLICA (%)	OBSERVAÇÕES
Operador perfuratriz	Bj-59	R	0,29	0,04	13,8	-
Operador perfuratriz	Bj-58	R	0,25	0,03	12,0	-
Operador de pá carregadeira	Bj-60	R	0,03	-	-	MI
Operador de britador	Bj-61	R	0,51	0,12	23,5	-
Operador de britador	Bj-55	R	0,40	0,08	20,0	-
Operador de Martelete	Bj-49	R	1,29	0,23	17,8	-
Operador de britador	Bj-48	R	0,51	0,10	19,6	-
Motorista de caminhão	Bj-54	R	0,10	<0,01	<2,6	-
Operador perfuratriz	Bj-52	R	0,24	0,07	29,2	-
Operador perfuratriz	Bj-51	R	0,82	0,17	20,7	-
Operador de britador	Bj-50	R	0,27	0,04	14,8	-
Operador de Martelete	Bj-53	R	1,06	0,15	14,2	-

## COMENTÁRIOS:

A coleta, a estratégia de amostragem e a representatividade das amostras são de inteira responsabilidade do solicitante.

As amostras recebidas foram analisadas segundo a metodologia indicada anteriormente.

**MASSA INSUFICIENTE (MI):**

Amostra com massa insuficiente para análise de Silica Livre Cristalizada utilizando a metodologia indicada anteriormente. São preparadas para análise de sílica apenas as amostras que, após análise gravimétrica, apresentem massa igual ou superior a 0,10 mg por filtro coletado.

## EQUIPE DE ANÁLISE:

Preparação de Amostras:

NORMA CONCEIÇÃO DO AMARAL

Interpretação de Resultados:

ANA MARIA TIBIRIÇÁ BON

São Paulo, 03 de abril de 2003.

Ana Maria Tibiriçá  
Química-Pesquisadora  
CRO n.º 04217803

NILCE A. H. PASTORELLO  
Gerente Substituta em Exercício da  
Coordenação de Higiene do Trabalho

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I.T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST. **2003 Limites de exposição (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos e índices biológicos de exposição (BEIs)**. São Paulo: Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais, 2003.

ANJOS, A.M. Determinação quantitativa de sílica livre cristalizada por difração de raios X. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v.17, n.65, p.55-59, 1989.

ARCURI, A.S.A.; CARDOSO, L.M.N. Limite de tolerância?. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v.19, n.74, p.99-106, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agentes químicos no ar – coleta de aerodispersóides por filtração. Método de ensaio MB-3422**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Calibração de vazão, pelo método da bolha de sabão, de bombas de baixa vazão utilizadas na avaliação de agentes químicos no ar. Norma NBR-105-62**. Rio de Janeiro, 1988.

BARREIROS, D.; PASSOS A. Estudo das condições de segurança em pedreiras. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v.12, n.46, p.40–48, abr./jun. 1984.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 1988.

\_\_\_\_\_. Ministério da Previdência e Assistência Social. **Anuário estatístico de acidentes do trabalho 2001 - acidentes do trabalho registrados**. Brasília, 2001.

Disponível em: <[http://www.previdenciasocial.gov.br/docs/1Act01\\_01.xls](http://www.previdenciasocial.gov.br/docs/1Act01_01.xls)>. Acesso em: 10 abr.2003.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Natureza e finalidade.** Brasília, 2002a. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/dnpm\\_ins.html](http://www.dnpm.gov.br/dnpm_ins.html)>. Acesso em: 31 Out. 2002.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **O universo da mineração brasileira – 2000.** Brasília, 2000a. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/univmi00.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2002.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário mineral brasileiro 2002.** Brasília, 2002b. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/sm2002.html>>. Acesso em: 2 mar. 2003.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **Acidentes de trabalho, óbitos, mortalidade e letalidade por grupo CNAE – 2000.** Brasília, 2000b. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/Temas/SegSau/estatisticas/acidentes/conteudo/indicadorecna2000.pdf>>. Acesso em: 21 ago.2002.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **Programa nacional de eliminação da silicose.** São Paulo, 2002c. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/silicaesilicose/>> Acesso em: 5 maio 2003.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria 3214 de Jul. 1978. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho. NR 15 atividades e operações insalubres.** Brasília, 1978. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/Temas/SegSau/Legislacao/Normas/Default.asp>>. Acesso em: 21 ago. 2002.

BRIEF, R.S.; SCALA, R.A. Occupational exposure limits for novel work schedules. **American Industrial Hygiene Association Journal**, Chicago, v.36, p.467-469, 1975.

BRITISH STANDARDS INSTITUTE. **Guide to occupational health and safety management systems - BS 8800.** London, 1996.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **Risk assessment:** guideline for decision-makers CAN/CSA-850-97. Etobicoke, 1997.

CASTRANOVA, V. et al. Enhanced pulmonary response to the inhalation of freshly fractured silica as compared with aged dust exposure. **Applied and Occupational Environmental Hygiene**, New York, v.7, n.11, p.937-941, July 1996.

COELHO, J.M. **The mining of aggregates in the metropolitan region of São Paulo**. London: International Institute for Environment and Development, 2001. (Report, n.121). Disponível em: <[http://www.iied.org/mmsd\\_pdfs/121\\_coelho.pdf](http://www.iied.org/mmsd_pdfs/121_coelho.pdf)> Acesso em: 23 jul. 2002.

CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da região metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico**. 2000. 201 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Department of Health and Human Services. National Institute for Occupational Safety and Health. **NIOSH Hazard Review Health Effects of occupational exposure to respirable crystalline silica**. Cincinnati, 2002.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Department of Health, Education, and Welfare. National Institute for Occupational Safety and Health. **Criteria for a recommended standard occupational exposure to crystalline silica**. Washington, 1974.

FÁBRICA DE AÇO PAULISTA. **Manual de britagem**. 5. ed. São Paulo: FAÇO, 1994.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. 1.838 p.

FREITAS, J.B.P. et al. Avaliação de ambientes de trabalho em trabalhadores expostos a poeira de sílica e fibras de asbesto. **Rede**, São Paulo, v.3, p.108-126, 1998. Edição especial.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Número de municípios e de áreas de exploração mineral do grupo da construção civil, segundo unidades de gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo, 1999, disponível em:

<<http://www.seade.gov.br/titabpv98/mam/ANU2000/mam200004.htm>>. Acesso em: 23 jul. 2002.

HAWKINS, N.C.; NORWOOD, S.K.; ROCK, J.C. (Ed.) **A strategy for occupational exposure assessment**. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 1991. 179 p.

HEARL, F.J. Mixture formula justified. **American Industrial Hygiene Association Journal**. Morgantown, v.57, n.6, p. 574-575, Jun. 1996.

JAYJOCK, M.A.; LYNCH, J.R.; NELSON, D.I. **Risk assessment principles for the industrial hygienist**. Fairfax: American Industrial Hygiene Association, 2000. 110p.

KITAMURA, S.; BAGATIN, E.; CAPITANI, E.M. Toxicologia da sílica. **Jornal de Pneumologia**, São Paulo, vol.4, n.22, p.185-193, jul./ago. 1996.

LAZZARINI, S.G. Estudo de caso: aplicabilidade e limitações do método para fins de pesquisa. **Economia e Empresa**, São Paulo, v.2, n.4, p.17-26, out./dez.1995.

LEIDEL, N.A.; BUSCH, K.A.; LYNCH, J.R. **Occupational exposure sampling strategy manual**. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health, 1977. 132 p.

LIEBER, R.R.; ROMANO-LIEBER, N.S. O conceito de risco: Janus reinventado. In: MINAYO, M.C.S.; MIRANDA, A.C. (Org.) **Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002. p.69-111.

LIOY, P.J.; LIPPMANN, M.; PHALEN, R.F. **Rationale for particle size-selective air sampling**. Cincinnati: ACGIH, 1985. Cap. 2, p.7-14: Particle size-selective sampling in the workplace. (Report of the ACGIH technical committee on air sampling procedures).

LOWRANCE, W.W. **Of acceptable risk science and the determination of safety**. Los Altos: William Kaufmann, 1976. 180 p.

MCCOLL et.al. **Environmental health risk management**. Institute for Risk Research. Waterloo: University of Waterloo, 2000.

NOGUEIRA, D. P. Pneumoconioses. **Revista CIPA**, São Paulo, v.6, n. 64, p.20-21, 1984.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Programa Internacional de Segurança Química. **Segurança química: fundamentos de toxicologia aplicada** [e] características dos riscos causados por agentes químicos; trad. de E. S. Nascimento. São Paulo: Fundacentro, 1994.

PATTERSON, R.E. Silica. In: KIRK-OTHMER **Encyclopedia of chemical technology**. 4.ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. v.21. p.977-1005.

PAUSTENBACH, D.J. Updating OSHA's permissible exposure limits: putting politics aside. **American Industrial Hygiene Association Journal**, Morgantown, v.58, n.12., p.845-849, Dec. 1997.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Comissão de Defesa Civil. **Índices pluviométricos mensais**. 2003. São Paulo. Disponível em: <http://sampa3.prod.am.sp.gov.br/comdec/index.html>. Acesso em: 22 abr. 2003.

SAAD, I.F.S.D.; GIAMPAOLI, E. **Programa de prevenção de riscos ambientais – NR-9 comentada**. Campinas: Digital Graph, 1999. 48 p.

SALIBA, T.M.; SALIBA, S.C.R. **Legislação de segurança, acidentes do trabalho e saúde do trabalhador**. 1.ed. São Paulo: LTR, 2002. 454 p.

SANTOS, A.M.A.; AMARAL, N.C. **Análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros de membrana. Método de ensaio NHO 03**. São Paulo: Fundacentro, 2001.

SOTO, J.M.O.G.; SAAD, I.F.S.D.; FANTAZZINI, M.L. **Riscos químicos**. São Paulo: Fundacentro, 1982. 100 p.

TORLONI, M. (Coord.). **Programa de proteção respiratória: recomendações, seleção e uso de respiradores**. São Paulo: Fundacentro, 2002. 127 p.

VALVERDE, F.M. (Coord.). **Bases para o planejamento da mineração de areia na região metropolitana de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 1997. 133 p.

VALLYATHAN, V.; SHI, X. The role of oxygen free radicals in occupational and environmental lung diseases. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v.105, p.165-177, Feb.1997. Supplement 1.

VOGEL, L. **La evaluación de los riesgos en los centros de trabajo y la participación de los trabajadores.** Madrid: UCM, 1995. (Cuadernos de relaciones laborales, n. 7).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. International Agency for Research on Cancer. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human: silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibers.** Lyon, 1997. vol.68.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION. **Particle size-selective aerosol sampling in the workplace. Some practical application issues.** Fairfax, AIHA, 1996.

ARMSTRONG, J. e MENON, R. **Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.** OIT - Oficina Internacional del Trabajo, 3.ed. 1998. v.3, Cap.74, p.(74.2-74.58).

BERNSTEIN, P.L. **Desafio aos deuses: a fascinante história do risco.** Trad. I. Korytowski. Rio de Janeiro: Campus, 1997..

BÔAS, R.C.V.; FILHO, L.F. (Ed.) **Technological challenges posed by sustainable development: the mineral extraction industries.** Madrid: CYTED/IMAAC/UNIDO, 2000. 408 p.

BRAILE, V.V. et al. Poluição do ar causada pela operação de pedreiras no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v.7, n.27, p.34-45, 1978.

BURGES, W.A. **Identificação de possíveis riscos à saúde do trabalhador nos diversos processos industriais.** Belo Horizonte: Ergo, 1997. Cap. 25-26.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA: Department of Labor: Mine Safety and Health Association. **Health hazard information silica exposure of surface coal miners.** Disponível em: <<http://www.msha.gov/S&HINFO/HHICC01.HTM>> Acesso em: 30 jul. 2002.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. The National Research Council. **Measurement and control of respirable dust in mines.** Washington: National Academy of Sciences, 1980. 405 p.

FREITAS, C.M. **Acidentes químicos ampliados-incorporando a dimensão social nas análises de risco.** 1996. 192 p. Tese (Doutorado) – Escola Nacional de Estudos da Saúde da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. Norma para avaliação da exposição ocupacional a aerodispersóides. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, n.51, v.13, p.64-68, 1985.

GOELZER, B.I.F. **Substituição como medida de prevenção e controle de riscos ocupacionais**. Campinas: Digital Graph, 2001. 20 p.

GOODE, W.J.; HATT, P.K. **Métodos em pesquisa social**. Trad. C. M. Bori. 6.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1997. 488 p.

HERING, V.S. (Ed.) **Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants**, 7.ed. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1989.

HINDS, W.C. **Aerosol technology** properties, behavior, and measurement of airborne particles. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 483 p.

KOLLURU, R.V. et al. **Risk assessment and management handbook for environmental, health and safety professionals**. New York: McGraw-Hill, 1996.

LEIDEL, N.A.; BUSCH, K.A.; CROUSE, W.E. **Exposure measurement action level and occupational environmental variability**. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health, 1975.

MODY, V.; JAKHETE, R. **Dust control handbook**. Park Ridge: Noyes Data Corporation, 1988. Pollution technology review n.161. 203 p.

MORIN, E. **Ciência com consciência**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1998. 344 p.

MORIN, E.; LE MOIGNE, J.L. **A inteligência da complexidade**. Trad. N. M. Falci. São Paulo: Peirópolis, 2000. 263 p.

SANTOS, A.M.A. **O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 2001. /Adaptação do texto original, Dissertação de mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais/.

SANTOS, A.M.A., CANÇADO, R.Z.L. Poeira total ou inalável? **Revista Proteção**, São Paulo, p.88-91, jun. 2002.

SEVERINO, A.J. **Metodologia do trabalho científico**. 22.ed. São Paulo: Cortez, 2002. 335 p.

SCLIAR, C. **Geopolítica das minas do Brasil**: a importância da mineração para a sociedade. Rio de Janeiro: Revan, 1996. 187 p.

VIEIRA, R., M. **A composição e a edição do trabalho científico**: dissertações, monografias e teses. São Paulo: Lovise, 1995. 174 p.

WILLEKE, K., BARON, P.A. (Ed.) **Aerosol measurement**: principles, techniques and applications. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.

YIN, R.K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.