

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE QUÍMICA

NEIMAR THOFEN METZ

IMPLANTAÇÃO DE PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA MONITORAMENTO DA  
EXPOSIÇÃO LABORAL À SÍLICA CRISTALINA CONTIDA EM POEIRA RESPIRÁVEL

PORTO ALEGRE

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE QUÍMICA

NEIMAR THOFEN METZ

IMPLANTAÇÃO DE PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA MONITORAMENTO DA  
EXPOSIÇÃO LABORAL À SÍLICA CRISTALINA CONTIDA EM POEIRA RESPIRÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
junto à atividade de ensino “Projeto Tecnológico”  
do Curso de Química Industrial, como requisito  
parcial para a obtenção do grau de Químico  
Industrial

Prof. Dr. Marco Flôres Ferrão (UFRGS)  
Orientador

Dra. Maria Candida Silveira Mendes (CIENTEC-RS)  
Co-orientadora

PORTO ALEGRE

2016

Aos professores, facilitadores no caminho do saber

À minha família, minha primeira escola

## AGRADECIMENTOS

Agradeço

a coordenadora Candida por sua postura profissional exemplar, por sua dedicação inspiradora, e por propiciar o aprendizado científico e amadurecimento profissional pelos quais tanto ansiei;

o professor Marco Ferrão pela orientação, pelo abraço à causa, pela sempre pronta resposta, e pela segurança transmitida ao meu trabalho;

o Gerente do Departamento de Química Julio Endres pela confiança, pelo diálogo franco e pelas portas que me foram abertas;

o colega Rubens Thomaz pelo investimento altruísta do seu tempo em favor da minha evolução pessoal e profissional;

o gerente do DEPOMA João Vivian pelo depósito de confiança em mim creditado;

o Engenheiro de Segurança do Trabalho Carlos Celestino pela parceria;

os funcionários Beto, Paulo Matheus e Gilnei pela gentil disponibilidade de fazerem parte do trabalho como os funcionários cuja exposição foi monitorada;

a Faster Online, distribuidora autorizada SKC no Brasil, pelo gracioso fornecimento de insumos;

os professores da UFRGS Evandro Steffani e João Henrique Z. dos Santos por suas indispensáveis contribuições;

a Majo pelo amor, pela motivação, pela força, pelo olhar carinhoso e afetuoso, por estar presente e por me inspirar;

os meus amigos e colegas, companheiros de jornada, por colocarem a compreensão à frente de qualquer julgamento, pelo perdão, pela união, por compartilharem comigo seus medos e seus sonhos e ouvir os meus, e pelo cuidado ao cultivo da nossa amizade e parceria.

Muito obrigado!

## RESUMO

A sílica cristalina presente na poeira respirável é um conhecido agente carcinogênico. As diminutas partículas em suspensão se alojam nos pulmões causando inflamação, cicatrização e surgimento de nódulos, desenvolvendo a silicose, doença incapacitante que danifica progressiva e permanentemente a eficácia das trocas gasosas do pulmão. A silicose é incurável. É de fundamental importância que atividades ocupacionais onde haja exposição a poeiras sejam monitoradas quanto à exposição dos trabalhadores a esse risco. Neste trabalho se realizou coletas de poeira respirável em setores de atividades com produção elevada de poeira e se implementou uma sistemática de quantificação da sílica com fundamentação no método NIOSH 7602. Os teores de sílica encontrados nas amostragens encontram-se abaixo do limite tolerável, porém dentro da faixa do nível de ação, onde medidas devem ser tomadas para o monitoramento contínuo da exposição e a proteção dos funcionários e formas de diminuir a produção de poeiras.

## ABSTRACT

The crystalline silica found in airborne respirable dust is a known carcinogenic agent. The finely divided particles in suspension are deposited in the lungs causing inflammation and scarring, evolving to fiber nodules, developing silicosis, a disabling disease that harms the gas exchange process efficiency in the lungs in a progressive and permanent manner. Silicosis has no cure. It is extremely important that occupational activities with exposure to dust have its levels monitored to this risk. In the present academic work, samples of respirable dust were collected in sectors where high concentrations of dust are generated and a quantification procedure of crystalline silica was implemented based on method NIOSH 7602. The silica levels of the respirable dust collected lie within the action level, where measures must be taken to the continuous exposure monitoring and the protection of the employees and manners to lower the dust generation.

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACGIH	Conferência Americana de Higienistas Industriais
CEN	Comitê Europeu para Padronização
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul
CLT	Consolidação das Leis Trabalhistas
DEMACC	Departamento de Materiais da Construção Civil
DEPOMA	Departamento de Obras e Manutenção
DEQUIM	Departamento de Química
EUA	Estados Unidos da América
FT-IR	Infravermelho com Transformada de Fourier
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
IARC	Agência Internacional para Pesquisa contra o Câncer
ILO	Organização Internacional do Labor
ISO	Organização Internacional para Padronização
LAO	Laboratório de Análises Orgânicas
LT	Limite de tolerância
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH	Instituto Nacional para Saúde e Segurança Ocupacional (EUA)
NR	Norma Regulamentadora
OSHA	Administração de Saúde e Segurança Ocupacional (EUA)
PNES	Programa Nacional para a Eliminação da Silicose
PO	Procedimento de Operação Interno CIENTEC-RS
PVC	Policloreto de vinila
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SIT	Secretaria de Inspeção do Trabalho
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
WHO (OMS)	Organização Mundial da Saúde

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frações inalável, torácica e respirável de poeira e seu grau de penetração .....	14
Figura 2 - Estruturas da sílica cristalina (quartzo) e sílica amorfa (areia) .....	15
Figura 3 - Predominância de $\alpha$ -quartz na superfície terrestre.....	16
Figura 4 - Radiografia de pulmões sadios.....	18
Figura 5 - Pulmões com nódulos de 2 a 5 cm .....	18
Figura 6 - Silicose em estágio avançado.....	18
Figura 7 - Fatalidades anuais atribuídas à silicose nos Estados Unidos (1968 - 2014) .....	19
Figura 8 - Redução da emissão de poeira no acabamento de rochas ornamentais com ações do PNES – corte a úmido .....	22
Figura 9 - Trabalhadores expostos à sílica por região e percentual por Estado em 2007 .....	23
Figura 10 - Ilustração da disposição do sistema de amostragem durante a coleta.....	27
Figura 11 - Convenção ISO/ACGIH/CEN para os pontos de corte a 50% das frações de poeira .....	28
Figura 12 - Curva de eficiência de amostragem do ciclone Dorr-Oliver.....	29
Figura 13 - Cassete de três seções contendo filtro pré-pesado pronto para uso.....	30
Figura 14 - Esquema de montagem do ciclone e cassete no dispositivo de fixação .....	31
Figura 15 - Retificadora .....	32
Figura 16 - Peneira de carvão.....	32
Figura 17 - Homogeneidade da pastilha e dubleto do quartzo a $800\text{cm}^{-1}$ (res. $4\text{cm}^{-1}$ ).....	33
Figura 18 - Alargamento da banda a $800\text{cm}^{-1}$ característico na sílica amorfa (res. $2\text{cm}^{-1}$ ) .....	33
Figura 19 - Curva de calibração da sílica .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhadores ocupados e expostos à sílica por atividade, frequência absoluta e percentual de expostos, Brasil .....	22
Tabela 2 - Trabalhadores ocupados e expostos à sílica por atividade, frequência absoluta e percentual de expostos, Rio Grande do Sul.....	24
Tabela 3 - Limites de exposição (L.E.) à SiO <sub>2</sub> para alguns países europeus .....	26
Tabela 4 - Fração respirável de particulados .....	29
Tabela 5 - Pontos obtidos para construção da curva padrão .....	35
Tabela 6 - Valores relevantes às coletas realizadas .....	37
Tabela 7 - Investimento inicial para oferta da análise ao público externo.....	40

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3. POEIRA E SEUS RISCOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA POEIRA POR TAMANHO.....	13
<b>4. SÍLICA.....</b>	<b>15</b>
<b>5. SILICOSE.....</b>	<b>16</b>
5.1 TIPOS DE SILICOSE .....	17
<b>6. UMA RADIOGRAFIA DO COMBATE À SILICOSE .....</b>	<b>19</b>
6.1 PANORAMA INTERNACIONAL.....	19
6.1.1 EUA na vanguarda do combate à silicose.....	20
6.2 SITUAÇÃO ATUAL NO BRASIL .....	21
6.2.1 Exposição no Rio Grande do Sul.....	23
6.3 LIMITE DE EXPOSIÇÃO VIGENTE NO BRASIL .....	24
6.4 LIMITES DE EXPOSIÇÃO NA UNIÃO EUROPEIA .....	26
<b>7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PILOTO NA CIENTEC.....</b>	<b>27</b>
7.1 DIRETRIZES .....	27
7.2 TRABALHO DE CAMPO .....	31
7.3 PROCEDIMENTO NO LABORATÓRIO.....	32
7.3.1 Avaliação por espectrofotometria de infravermelho.....	32
7.3.2 Construção da curva padrão .....	34
7.3.3 Preparação da Amostra.....	35
<b>8. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>9. ANÁLISE DE CUSTOS.....</b>	<b>39</b>
9.1 PREÇO PRATICADO POR LABORATÓRIOS NACIONAIS .....	39
9.2 CUSTO INTERNO DA ANÁLISE .....	39
<b>10. CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>
10.1 EXPOSIÇÃO À SÍLICA NA CIENTEC.....	41
10.2 NORMAS NACIONAIS EM VIGOR .....	41
10.3 MERCADO .....	42
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>46</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

O trabalho apresentado aqui surgiu como uma das demandas decorrentes da necessidade, em 2014, de se obter um panorama da situação em que se encontrava a Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (CIENTEC – RS), referente ao cumprimento da exigência legal da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT), no seu artigo 162 e abordada pela Norma Regulamentadora 4 (NR 4) de um programa interno de Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT). Houve a contratação temporária de uma empresa de Segurança do Trabalho para o mapeamento dos riscos inerentes às atividades desempenhadas dentro da Fundação.

Quando algum agente nocivo à integridade física de um funcionário tenha sido identificado no decorrer destes 2 anos, foi providenciada sua mensuração a fim de se saber a gravidade de exposição. Houve mapeamento de todas as atividades e operações insalubres aplicáveis como previsto pela NR 15. Dentre eles exposição a calor, frio, ruídos, vibração, radiações ionizantes e não-ionizantes, agentes químicos, e agora mais recentemente no segundo semestre de 2016 foi contemplada na programação a quantificação da exposição a poeiras minerais, e mais especificamente, à sílica cristalina presente nessas poeiras.

O presente trabalho compila uma experiência de sucesso ao se aproveitar a *expertise* de diferentes setores de uma empresa que ao trabalharem em conjunto percebem benefício mútuo e projeção econômica positiva. Foram peças contribuintes no desenvolvimento do trabalho o Laboratório de Análises Orgânicas (LAO) do Departamento de Química (DEQUIM), o Departamento de Obras e Manutenção (DEPOMA) e o setor de Segurança do Trabalho, vinculado a este último; e a pronta colaboração dos funcionários do Laboratório de Ensaios em Combustíveis do DEQUIM e do Departamento de Materiais da Construção Civil (DEMACC) onde foram realizados os trabalhos de campo.

## **2. OBJETIVOS**

Através de um projeto piloto dentro da CIENTEC-RS, desenvolver um procedimento de operação interno (PO) a fim de em um primeiro momento avaliar a exposição de funcionários efetivos à sílica cristalina contida em poeira respirável produzida nas atividades ocupacionais identificadas pelo setor de segurança do trabalho como potencialmente nocivas ao trabalhador em exercício naquela função.

Em uma segunda etapa, passar a fornecer este serviço à sociedade na forma da prestação de serviço.

### 3. POEIRA E SEUS RISCOS

Conforme o “Glossário de Termos de Química Atmosférica” (IUPAC, 1990), poeira são partículas sólidas pequenas e secas usualmente de tamanho de  $1\mu\text{m}$  até  $100\mu\text{m}$  em diâmetro, projetadas ao ar por forças naturais, como vento, erupções vulcânicas, ou por processos mecânicos ou manuais como esmagamento, moagem, trituração, esmerilhamento, perfuração, demolição, ensacamento, varrição, transporte e triagem.

Dentre os riscos mais comuns associados à exposição ocupacional à poeira está o desenvolvimento da pneumoconiose (do grego pneumon, pulmão, e Konis, poeira), doença que atinge os pulmões e que está, na maioria das vezes, associada à inalação de particulados minerais como os asbestos (cristais fibrosos de silicatos), carvão e sílica cristalina, e suas respectivas denominações: asbestose (ou fibrose), pulmão negro (ou doença do mineiro) e silicose.

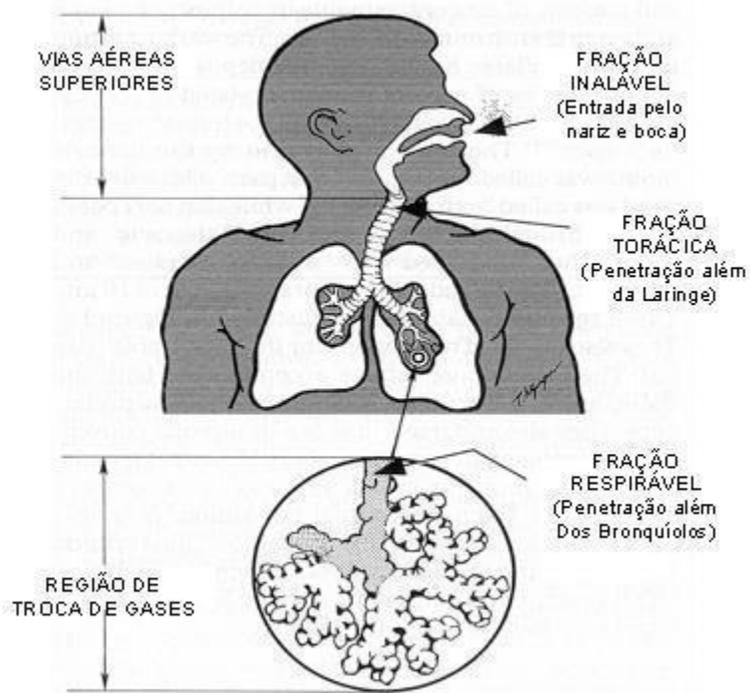
Pela sua grande ocorrência como constituinte da poeira, a sílica merece bastante atenção. Se inaladas e de tamanho suficientemente pequeno, as partículas de sílica cristalina podem se alojar nos pulmões e representar um sério risco à saúde.

A Conferência Americana de Higienistas Industriais (ACGIH), a Organização Internacional para Padronização (ISO) e o Comitê Europeu para Padronização (CEN) estabeleceram definições para frações inaláveis, torácicas e respiráveis de poeira (Niosh, 2003).

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA POEIRA POR TAMANHO

Em termos de exposição ocupacional, a poeira é dividida em três frações (Figura 1). A fração inalável compreende a faixa de particulados de tamanho inferior a  $100\mu\text{m}$  que atinge os interiores da boca e nariz. A fração torácica pode penetrar nas vias aéreas e atingir as vias respiratórias superiores dos pulmões; abrange particulados menores de  $30\mu\text{m}$  e principalmente de tamanho médio ao redor de  $10\mu\text{m}$ . À fração respirável pertencem os particulados de tamanho inferior a  $10\mu\text{m}$  e que podem penetrar além dos terminais brônquicos alcançando a zona de trocas gasosas dos pulmões.

Figura 1 - Frações inalável, torácica e respirável de poeira e seu grau de penetração



Fonte: O Mapa da Exposição à Sílica no Brasil, 2010

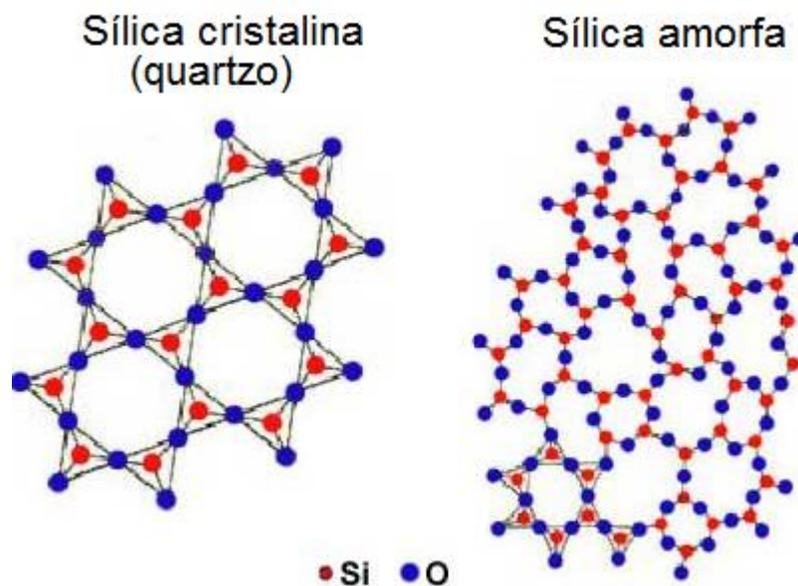
#### 4. SÍLICA

Silício e oxigênio são os dois elementos químicos de maior abundância na crosta terrestre, camada sólida mais externa da Terra que corresponde a 1% do volume do planeta com profundidades típicas de 5km a 70km. Em composição mássica da crosta, oxigênio representa 47% e silício 28%, com alumínio em terceiro (8%) e ferro em quarto (5%). Por essa razão, silício e oxigênio são os principais constituintes dos minerais mais comuns: feldspatos ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  –  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  –  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), constituintes de 60% da crosta; e a sílica, dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), em segundo com 30% (destes, 40% é sílica cristalina – 12% da crosta terrestre).

Diferentemente dos feldspatos, minerais constituintes de pedras e rochas, a sílica se apresenta além das formas rochosas, como granito e ardósia onde compreende de 30% a 40% da composição, e arenito, acima de 90%, na forma de finos grãos como na areia do mar e terras diatomáceas (formas amorfas), e cristais de sílica, principalmente quartzo. As formas amorfas e cristalinas diferem entre si pela sua organização estrutural (Figura 2).

Por ser tão abundante, a sílica é encontrada em inúmeros ambientes, inclusive sua presença sendo permitida em alimentos para consumo humano pela ANVISA (até 1,5% de areia) e comumente encontrado no ar constituinte de poeiras, onde é um contaminante.

Figura 2 - Estruturas da sílica cristalina (quartzo) e sílica amorfa (areia)



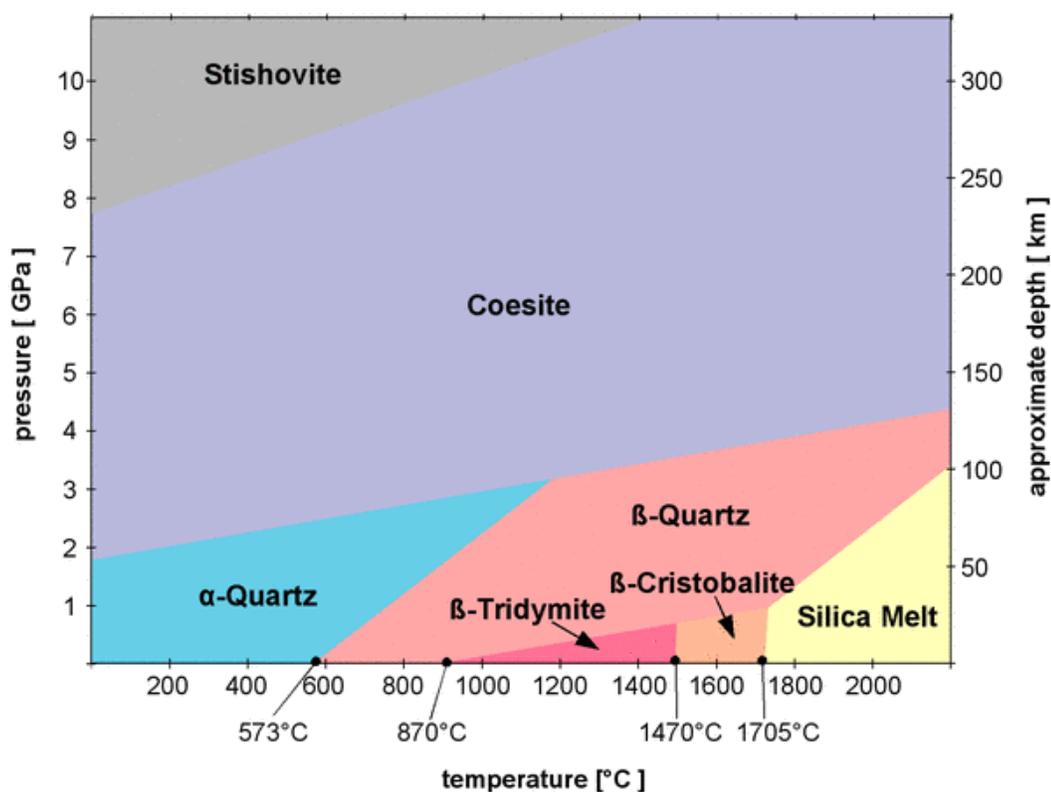
Fonte: NDT Resource Center, 2015

## 5. SILICOSE

A silicose foi a primeira das pneumoconioses descrita por Bernardino Ramazzini, considerado o pai da medicina ocupacional, em seu livro *De Morbis Artificum Diatriba* (As Doenças dos Trabalhadores – Itália, 1700). O termo silicose, porém, veio a ser utilizado somente em 1870 por Achille Visconti, médico legista no Hospital Maggiore de Milão.

Silicose é uma doença de caráter progressivo e muitas vezes incapacitante, causada pela inalação prolongada de poeira que contenha sílica cristalina, normalmente  $\alpha$ -quartz (em maior quantidade no ambiente), ou suas formas polimórficas tridimita ou cristobalita, raramente encontradas (Figura 3), marcada por inflamação e formação de cicatrizes na forma de lesões nodulares em ambos os pulmões, e clinicamente por insuficiência respiratória, expansão torácica diminuída, cianose e menor capacidade de trabalho (SAX, 1968; GOHNET, 2007).

Figura 3 – Predominância de  $\alpha$ -quartz na superfície terrestre



Fonte: The Quartz Page, 2014

A sílica cristalina respirável é um agente carcinogênico reconhecido pela Agência Internacional para Pesquisa contra o Câncer (IARC, na sigla em inglês) que concluiu em 1996

que “há evidências suficientes em humanos para a carcinogenicidade da sílica cristalina inalada na forma de quartzo ou cristobalita de fontes ocupacionais”. Em 1988 o Instituto Nacional para a Segurança e Saúde Ocupacionais (NIOSH) já recomendava à Administração de Segurança e Saúde Ocupacionais (OSHA) a classificação da sílica como carcinogênico e um limite de exposição  $0,05 \text{ mg/m}^3$  para sílica livre respirável para todas as formas cristalinas de sílica “para proteger trabalhadores de silicose e câncer”.

Uma vez no pulmão, as partículas silícicas não podem ser removidas. Macrófagos alveolares ingerem as partículas, se tornam ativos, e liberam citocinas, incluindo fator de necrose tumoral (que causa morte celular induzida), e também fatores de quimiotaxia (movimentação por estímulo químico) para recrutamento de outras células pró-inflamatórias. As enzimas digestivas liberadas por essas células após morte danificam os tecidos dos pulmões, produzindo os nódulos. Por sua estabilidade química, a sílica não é digerida pelos macrófagos, continuando assim o ciclo de lesão (TORREIRA, 1997).

Os pulmões comprometidos começam a perder a capacidade de fornecer oxigênio ao corpo, exigindo mais do coração para suprir a demanda de oxigenação. Por essa razão, problemas cardíacos normalmente acompanham cenários de pneumoconiose, além dos pulmões fragilizados estarem mais suscetíveis a infecções, como pneumonia, enfisema e tuberculose.

Ainda, a superfície das partículas de sílica cristalina recentemente clivada no processamento industrial é muito ativa quimicamente e, uma vez inaladas, podem induzir à formação de radicais que levam à produção de hidroxilas, peróxido de hidrogênio e outros radicais oxigenados que danificam membranas celulares via peroxidação lipídica e inativação de proteínas essenciais.

## 5.1 TIPOS DE SILICOSE

A ocorrência mais comum da doença é na forma crônica. Ocorre após 15 anos de exposições de baixas a moderadas. Os sintomas podem não ser evidentes, fazendo necessários exames clínicos para a comprovação de danos aos pulmões, como radiografias (Figuras 4, 5 e 6). À medida que a doença progride, o trabalhador pode apresentar cenários de fegância e sinais clínicos de deficiente troca gasosa pulmonar. Nos estágios mais avançados, o trabalhador pode sofrer de fadiga, fortes quadros de insuficiência respiratória para as mais simples atividades e dores no peito (VARKEY, 2015).

A silicose acelerada ocorre num período de 5 a 10 anos de exposições à sílica cristalina. Sintomas incluem severa insuficiência respiratória, fraqueza, e perda de peso.

O quadro de silicose aguda pode se apresentar após alguns meses e anterior a 2 anos após exposição a altas concentrações de sílica cristalina respirável. Sintomas incluem um quadro de insuficiência respiratória incapacitante, fraqueza e perda de peso, que leva à morte na maioria dos casos.

Figura 4 - Radiografia de pulmões sadios



Figura 5 - Pulmões com nódulos de 2 a 5 cm



Figura 6 – Silicose em estágio avançado



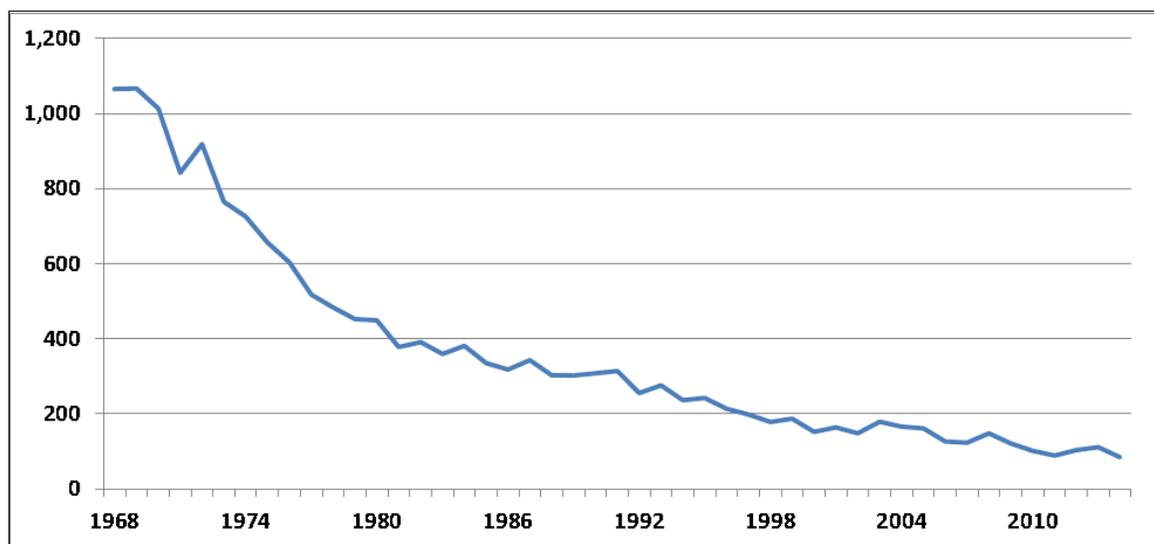
## 6. UMA RADIOGRAFIA DO COMBATE À SILICOSE

### 6.1 PANORAMA INTERNACIONAL

A Organização Internacional do Labor (ILO) em comitê articulado com a Organização Mundial da Saúde (WHO) lançaram em 1995 o Programa Global para a Eliminação da Silicose no mundo até 2030. O objetivo dessa força tarefa é de desenvolver e implementar o programa para encorajar todos os países a desenvolverem seu próprio programa nacional. É desejável que seja contemplada nesses programas a ampla prevenção à pneumoconiose, oriunda da exposição ocupacional a poeiras de diferentes naturezas (asbestos, sílica, carvão, etc.), pois a prevenção e controle dessas atividades estão relacionados.

Entre outros países desenvolvidos como Canadá, França, Austrália e Reino Unido, os EUA são citados como um caso de sucesso pelo comitê de como políticas públicas de prevenção às doenças pulmonares podem surtir efeitos benéficos. Em 1969, a Lei de Saúde e Segurança em Minas, de abrangência nacional, foi o primeiro grande passo em direção ao reconhecimento da nocividade da poeira respirável e o país viu a mortalidade devido a esse risco cair (Figura 7). Em 1971, com a criação da OSHA, houve o cuidado de difundir os limites de exposição a poeiras respiráveis a todos os setores, incluindo asbestos e a sílica cristalina.

Figura 7 - Fatalidades anuais atribuídas à silicose nos Estados Unidos (1968 - 2014)



Fonte: Centers for Disease Control and Prevention, National Database – USA, 2016

Durante as últimas décadas, o número de pessoas que morreram devido à silicose nos Estados Unidos diminuiu substancialmente devido à implantação de proteção nos ambientes de trabalho. Em 1968, a silicose levou à morte 12 pessoas por milhão da população americana, número que caiu para 2 por milhão em 1991, embora esses números sejam provenientes do banco de atestados de óbito, fonte que provavelmente subestima a prevalência dessa causa fatal no mundo todo devido à falta de práticas eficazes de registros, o tempo decorrido da exposição ao diagnóstico, e a falta da conscientização da relação entre a exposição e a doença (VARKEY, 2015). Um número estimado de 200.000 mineradores e 1,7 milhão de outros trabalhadores encontram-se em exposição ocupacional à sílica e é causa importante de perdas de vida antes dos 65 anos – em 2012 a expectativa de vida do país norte americano era de 78,7 anos (<http://data.worldbank.org/>).

#### 6.1.1 EUA na vanguarda do combate à silicose

A OSHA, entidade ligada ao departamento nacional do trabalho dos EUA, emitiu em março deste ano (2016) sua última resolução que trata do combate a doenças causadas pela respiração de poeiras contendo sílica, como silicose e cânceres de pulmão e renal. O documento altera o limite de exposição anterior que era de  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  e estabeleceu o novo limite de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para o limite de exposição tolerável à sílica cristalina vigente até a publicação da nova regra (anterior a março de 2016), a estimativa do desenvolvimento de pneumoconioses era de 60 a 773 casos e de 11 a 54 óbitos a cada 1000 trabalhadores, para uma vida produtiva de 45 anos de exposição, 8 horas diárias. A expectativa é de que o novo limite rebaixe as ocorrências da silicose para entre 20 e 170 e que as fatalidades fiquem entre 5 e 23 para cada 1000 trabalhadores.

As principais medidas trazidas pelo documento restringem o limite de exposição para  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  de ar para um turno de trabalho de 8 horas e o nível de tomada de ação de  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; exige dos empregadores providenciarem as medidas cabíveis para a prevenção da formação de poeiras com uso de sistemas de trabalho a úmido ou a vácuo; providenciar máscaras se os primeiros forem ineficazes; limitar exposição do trabalhador a áreas de maior risco; prover treinamento aos riscos da sílica e formas de proteção; plano de monitoramento da saúde pulmonar dos empregados; flexibilidade para os empregadores escolherem a forma como proteger seus trabalhadores da exposição à sílica, principalmente as empresas de pequeno porte.

É estimado que anualmente a nova resolução salve mais de 600 vidas e previna 900 novos casos de silicose. A projeção anual de ganhos monetários gira em torno dos 7 bilhões de dólares.

A elaboração da nova resolução contou com massivo referencial científico, padrões consensuais da indústria e audiências públicas onde mais de 200 partes interessadas puderam homologar suas manifestações a cerca do tema, rendendo 34.000 páginas de material.

Entrou em vigor em 23 de junho de 2016 com período de 1 ano para adaptação do setor da construção civil e 2 anos para indústria geral.

## 6.2 SITUAÇÃO ATUAL NO BRASIL

No Brasil, o Programa Nacional para a Eliminação da Silicose (PNES) está sob o comando da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO), grupo colaborador no Brasil da WHO e vinculado ao Ministério do Trabalho. Foi lançado no ano de 2002 após discussões que ocorreram no Seminário Internacional sobre Exposição à Sílica (Curitiba, 2000). Como objetivos norteadores a redução significativa da incidência de silicose em 2015 e a eliminação da silicose como problema de saúde pública em 2030.

Representando o Brasil, o documento de apresentação do programa brasileiro disponível no sítio virtual da ILO aponta os principais desafios identificados que poderiam ser fontes de entraves na época de sua elaboração: um programa de longa duração, interesses políticos, recursos humanos, as diferenças entre setores, e o mercado informal.

Após dez anos, outro documento intitulado “Programa Nacional de Eliminação da Silicose, Brasil – Completando uma década” traz os avanços percebidos pelo programa e uma avaliação do que não dera certo, apontando mudanças estratégicas necessárias para alcance do êxito. Foram apontados como fatores de insucesso: a falta de prioridade e vontade política das instituições envolvidas e lógicas e estratégias de atuação distintas e aleatórias em um trabalho fragmentado entre instituições: “As instituições envolvidas indicaram representantes, mas não criaram equipes de trabalho para participar do programa. Houve uma forte dependência em pessoas, em contraste com instituições. Os resultados obtidos devem ser considerados como méritos individuais, e não resultado de um programa.” Como pontos positivos, dentre outros: a proibição do jateamento de areia (Portaria SIT n°99, 19/10/2004) e a obrigatoriedade da adoção de sistemas de umidificação capazes de minimizar ou eliminar a

geração de poeira decorrente do funcionamento de máquinas e ferramentas utilizadas nos processos de corte e acabamento de rochas ornamentais (Portaria SIT nº43, 11/03/2008).

Figura 8 – Redução da emissão de poeira no acabamento de rochas ornamentais com ações do PNES – corte a úmido



Fonte: O mapa da exposição à Sílica no Brasil, 2010

Um levantamento publicado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 2010 apontou que num período de duas décadas, desde 1985, o número de trabalhadores expostos dobrou, embora em percentual total haja a impressão de ligeiro decréscimo (Tabela 1).

Tabela 1 - Trabalhadores ocupados e expostos à sílica por atividade no Brasil

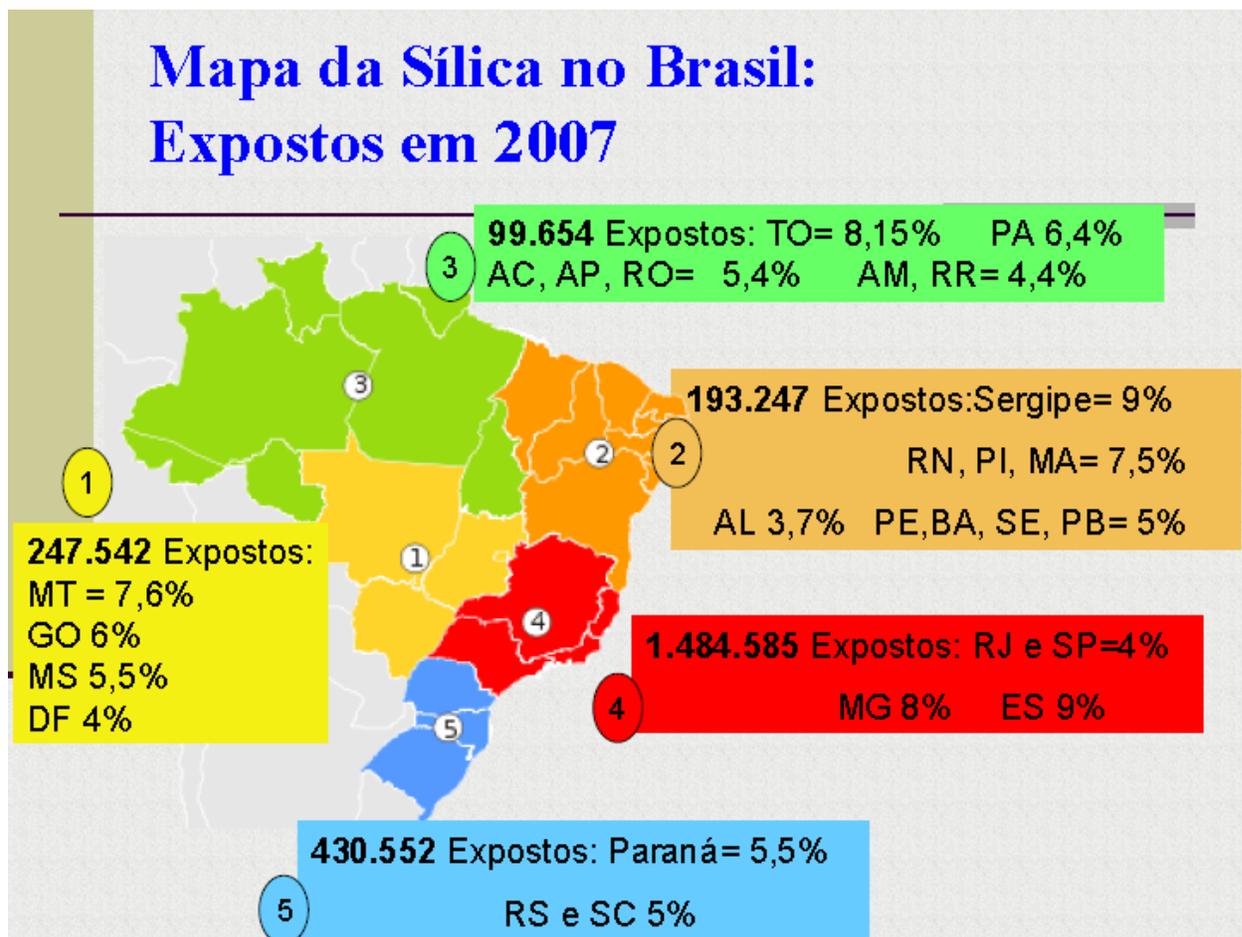
Setor Econômico	1985			2007		
	Ocupados	Expostos	%	Ocupados	Expostos	%
Extração Mineral	201.232	125.660	62,45	239.298	125.103	52,28
Mineral Não Metálico*1	418.521	238.844	57,07	489.390	272.083	55,60
Construção Civil	1.856.461	981.402	52,86	3.191.676	2.076.047	65,05
Indústria Metalúrgica	766.708	219.552	28,64	989.635	270.847	27,37
Borracha, fumo e couro*2	489.418	20.862	4,26	465.629	9.733	2,09
Agricultura	606.989	21.194	3,49	2.840.920	131.967	4,65
Setor de serviços*3	2.482.649	36.009	1,45	6.589.423	308.036	4,67
Outros	19.513.902	10.283	0,05	39.275.659	19.288	0,05
Total	26.335.880	1.653.806	6,28	54.081.630	3.200.106	5,92

\*1 Cerâmica e vidro \*2 Lapidação de pedras \*3 Administração Técnica Profissional

Fonte: O mapa da exposição à Sílica no Brasil

Foram ao todo mais de 3 milhões de trabalhadores identificados como expostos aos riscos da sílica cristalina em 2007.

Figura 9 - Trabalhadores expostos à sílica por região e percentual por Estado em 2007



Fonte: O mapa da exposição à Sílica no Brasil, 2010

#### 6.2.1 Exposição no Rio Grande do Sul

O estudo realizado pela universidade carioca ainda levantou os índices de exposição e evolução à exposição laboral à sílica por Estado. Acompanhando os reflexos no Brasil, também no estado gaúcho os expostos dobraram em número (Tabela 2)

Tabela 2 - Trabalhadores ocupados e expostos à sílica por atividade, frequência absoluta e percentual de expostos, Rio Grande do Sul

Setor Econômico	1985			2007		
	Ocupados	Expostos	%	Ocupados	Expostos	%
Extração Mineral	8.260	6.166	74,65	7.780	5.643	72,53
Mineral Não Metálico* <sup>1</sup>	29.238	16.501	56,44	22.150	13.318	60,13
Construção Civil	77.588	43.220	55,70	155.381	105.722	68,04
Indústria Metalúrgica	69.472	22.346	32,17	89.632	27.766	30,98
Borracha, fumo e couro* <sup>2</sup>	81.730	1.899	2,32	91.684	2.402	2,62
Agricultura	33.150	513	1,55	134.455	3.813	2,84
Setor de serviços* <sup>3</sup>	182.634	2.063	1,13	393.927	10.526	2,67
Outros	1.773.367	715	0,04	2.599.128	2.069	0,08
Total	2.255.439	93.423	4,14	3.494.137	171.259	4,90

\*<sup>1</sup> Cerâmica e vidro \*<sup>2</sup> Lapidação de pedras \*<sup>3</sup> Administração Técnica Profissional

Fonte: O Mapa da Exposição à Sílica no Brasil

### 6.3 LIMITE DE EXPOSIÇÃO VIGENTE NO BRASIL

É importante pontuar que não existe um nível de exposição à sílica que possa ser considerado completamente seguro, livre de riscos. Como abordado em 6.1.1, mesmo que haja ocorrido uma substancial redução no limite tolerável de exposição nos EUA, que poupará centenas de vidas anualmente, ainda assim, estatisticamente, morrerão de 5 a 22 trabalhadores a cada 1000 expostos a até a concentração tolerada.

Ainda conforme o item sobre a situação nos EUA, em março de 2016 nos EUA, o limite de exposição à sílica cristalina foi unificado para os dois setores nacionais ligados à saúde ocupacional NIOSH (departamento nacional da saúde) e OSHA (departamento nacional do trabalho) para 50µg/m<sup>3</sup> com uma faixa denominada nível de ação, que inicia em 25µg/m<sup>3</sup>, a partir da qual medidas preventivas devem ser adotadas. Entretanto, a conferência nacional de higienistas do país (ACGIH) é mais rigorosa e atribui 25µg/m<sup>3</sup> como o teor máximo de exposição tolerável desde 2006. No processo de formulação da sua última resolução, a OSHA

considerou reduzir o antigo valor de exposição tolerável ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para o recomendado pela ACGIH, porém estudos técnicos mostraram a impossibilidade tecnológica da indústria alcançar reduções de exposição tão drásticas.

No Brasil, a legislação em vigor é a Norma Regulamentadora 15, anexo 12, que estabelece os limites de exposição a poeiras minerais. O limite de tolerância (L.T.) é calculado de forma regressiva, isto é, com base no valor de sílica cristalina coletada presente na poeira respirável, se obtém o valor limite de exposição para a poeira que a contém:

$$\text{L. T.} = \frac{8}{\% \text{ quartzo} + 2} \text{ mg}/\text{m}^3$$

fórmula de cálculo aplicada desde 1992 (ano de inclusão da sílica cristalina na lista de poeiras minerais cuja exposição pode oferecer insalubridade) e que é muito semelhante à fórmula proposta pela ACGIH em 1968 (ao invés de oito, o numerador assumia valor dez onde o L.T. equivalia aproximadamente a  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Em contraponto, na NR 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais –, no item que trata das medidas de controle que norteiam as tomadas de ação frente a riscos à saúde do empregado (item 9.3), está prevista a adoção de parâmetros da ACGIH para alguns casos:

#### 9.3.5 Das medidas de controle

9.3.5.1 Deverão ser adotadas as medidas necessárias suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que forem verificadas uma ou mais das seguintes situações:

(...)

c) quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15 ou, na ausência destes os valores limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos;

d) quando, através do controle médico da saúde, ficar caracterizado o nexo causal entre danos observados na saúde os trabalhadores e a situação de trabalho a que eles ficam expostos.

O limite de exposição à sílica é contemplado na NR-15, porém fora copiado da própria ACGIH no princípio. Desde então, a ACGIH já reviu esse limite duas vezes diminuindo-o pela metade nas duas ocasiões: da fórmula da década de 60 para o atual limite de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (desde 2006).

#### 6.4 LIMITES DE EXPOSIÇÃO NA UNIÃO EUROPEIA

Na Europa, câncer é o responsável por 53% das mortes relacionadas a atividades laborais. A União Europeia iniciou estudo este ano para propor entre seus países membros um limite máximo de exposição à sílica de 0,1mg/m<sup>3</sup>. A estimativa é de que 5,3 milhões de trabalhadores estejam expostos atualmente e espera-se prevenir, com essa medida, 98.670 mortes nos próximos 50 anos (Comissão Europeia, 2016).

Tabela 3 - Limites de exposição (L.E.) à SiO<sub>2</sub> para alguns países europeus

Limite de Exposição (mg/m <sup>3</sup> )	País (L.E. à poeira respirável – mg/m <sup>3</sup> )
0,025	Itália (3), Portugal (5)
0,05	Finlândia ( <sup>1</sup> )
0,07	Bulgária (4), Países Baixos (5)
0,1	Dinamarca (5), França (5), Grécia (5), Noruega (5), Suécia (5), Reino Unido (4)
0,15	Áustria (5), Suíça (5), Luxemburgo (6)
0,3	Polônia ( <sup>1</sup> )
<sup>2</sup>	Alemanha ( <sup>3</sup> )

<sup>1</sup> não encontrado

<sup>2</sup> não possui L.E. específico para cristais de sílica

<sup>3</sup> L.E. variável: densidade do mineral multiplicado por 0,5. Para sílica, seria de 1,25mg/m<sup>3</sup>

Fonte: crystallinesilica.eu, 2014

Chama atenção que mesmo após o amplo estudo conduzido pela OSHA desde 2013 que resultou na regulação publicada em março deste ano e diminui o limite de exposição para 0,05mg/m<sup>3</sup>, autoridades europeias no assunto tenham se reunido em maio, também do corrente ano, para uniformizar seu limite para 0,1mg/m<sup>3</sup>, havendo estudos mundiais alertando para os graves riscos de exposição a essa magnitude.

## 7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PILOTO NA CIENTEC

### 7.1 DIRETRIZES

A norma em vigor no país para a determinação de sílica cristalina em poeira respirável é a Norma de Higiene Ocupacional NHO 08 de 2009: Coleta de Material Particulado Sólido Suspenso no Ar de Ambientes de Trabalho, Fundacentro, que estabelece a aplicação do método americano NIOSH 7602.

O método NIOSH 7602 quantifica a sílica cristalina presente na poeira respirável por espectroscopia de transmissão no infravermelho em pastilhas de KBr e a banda de  $800\text{ cm}^{-1}$ . A fração de poeira respirável é obtida por separação ciclônica e deposição em filtro microporoso de PVC. A sílica é separada do filtro e demais particulados por calcinação.

A coleta de poeira produzida de atividade suspeita de gerar particulados respiráveis e sílica cristalina é feita através de uma linha de ar onde em uma extremidade se encontra a bomba de sucção presa à cintura do funcionário, e na outra extremidade um ciclone fixo a um dispositivo para acoplamento do cassete que contém o filtro de PVC responsável por reter os particulados respiráveis. A coleta de material particulado em suspensão no ar é feita dentro da zona de respiração do indivíduo, uma área circular à frente dos ombros de raio máximo de 30 centímetros distante do nariz e boca (Figura 10).

Figura 10 - Ilustração da disposição do sistema de amostragem durante a coleta



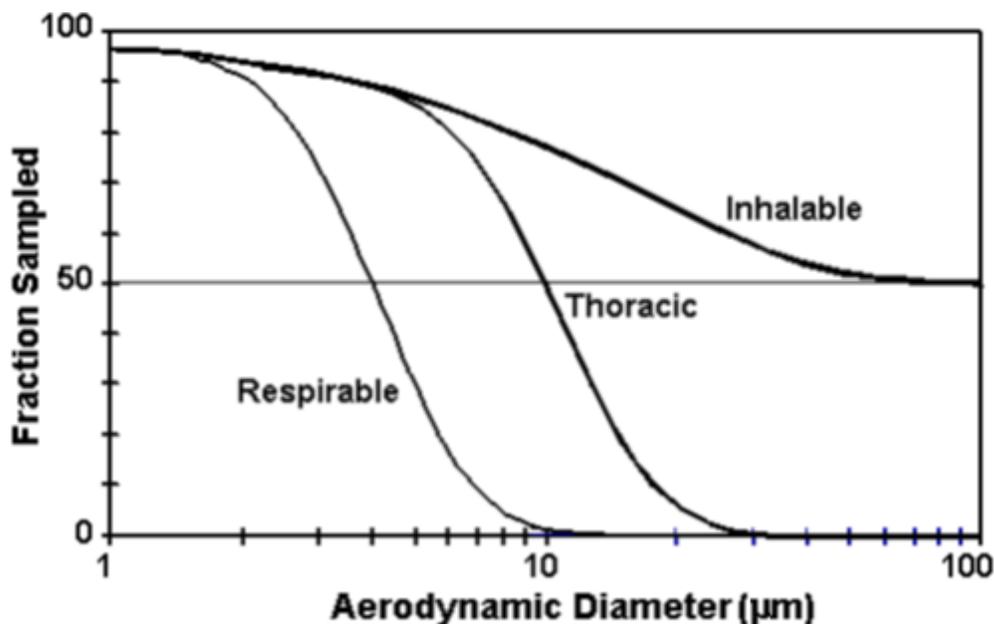
Fonte: OSHA, 2016

O ciclone deve atender o mais próximo possível às curvas da convenção internacional ISO/ACGIH/CEN que define os tamanhos de partículas para os pontos de corte a 50% de

eficiência das faixas inalável, torácica e respirável de poeiras (Figura 11), ou seja, o ciclone deve ser projetado de forma tal que conforme a faixa de poeira que se deseja coletar, que o tamanho de particulado médio que ele deixa escapar pela corrente de ar ascendente se aproxime o máximo possível do tamanho de partícula convencionado.

Para a coleta da fração respirável de poeira, se utilizou o ciclone modelo Dorr-Oliver, de uso consagrado nos EUA.

Figura 11 - Convenção ISO/ACGIH/CEN para os pontos de corte a 50% das frações de poeira



Fonte: Niosh MAM, Chapter O, 2010

A curva convencional para a fração de poeira respirável define que metade dos particulados de tamanho 4µm são capazes de penetrar as vias aéreas e chegar até o pulmão. Quanto menor, maior esse percentual. Na tabela 4 são selecionados alguns pontos da curva de poeira respirável para elucidar o percentual de partículas que atingem o pulmão conforme seu tamanho.

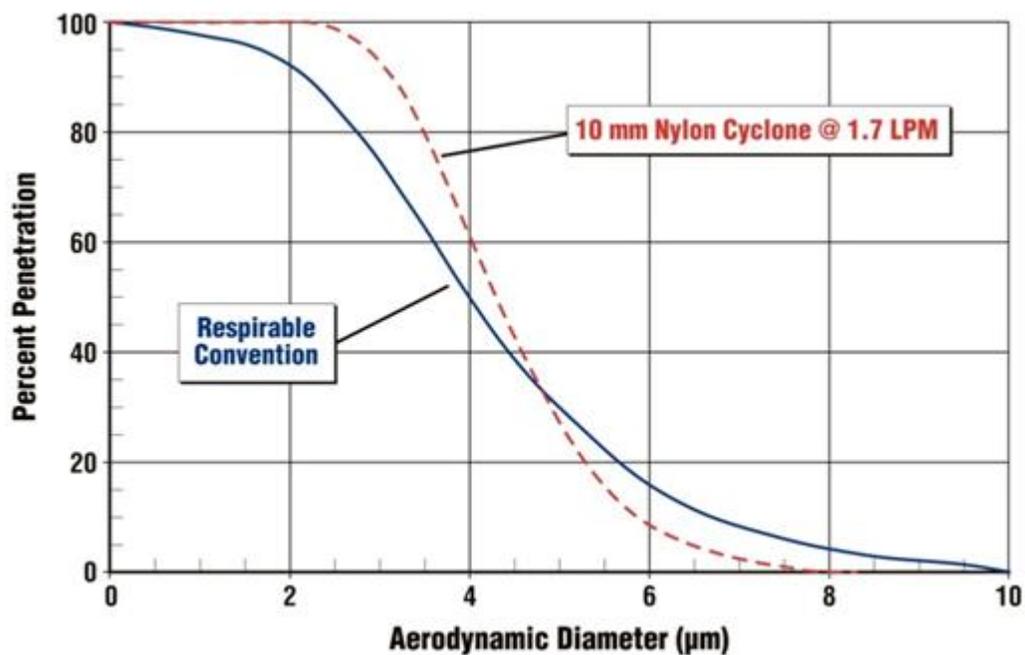
Tabela 4 - Fração respirável de particulados

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

Fonte: ACGIH

O modelo de ciclone Dorr-Oliver fabricado de nylon atende à convenção acima citada de forma satisfatória, separando as partículas de tamanho  $4\mu\text{m}$  com 60% de eficiência (Figura 12).

Figura 12 - Curva de eficiência de amostragem do ciclone Dorr-Oliver



Fonte: eLCOSH, 2016

O cassete (Figura 13) possui um formato cilíndrico fabricado de material polimérico rígido e transparente. É formado do encaixe de duas ou três partes, chamadas de seções ou corpos. No centro da área circular das seções superior e inferior (bases do cilindro) há orifícios que permitem a passagem de ar. Na seção de saída é apoiado o suporte que serve de base para o filtro de PVC 5 $\mu$ m de massa conhecida que coleta os particulados respiráveis.

Figura 13 - Cassete de três seções contendo filtro pré-pesado pronto para uso



Fonte: SKC, inc. 2016

O filtro de PVC deve apresentar desprezível higroscopicidade e baixo teor de cinzas, além de capacidade de retenção de particulados adequada. Um exemplo de filtro fabricado pela Zefon International, Inc. com suas especificações é encontrado no Anexo 1.

O primeiro passo logo após a montagem do sistema bomba-linha-cassete-ciclone (Figura 14) é calibrar a vazão da bomba e fazer os ajustes devidos conforme necessário para atender a especificação quanto ao ciclone utilizado. A cada modelo de ciclone corresponde uma vazão ótima de succionamento a fim de atender a regra internacional ISO/ACGIH/CEN do ponto de corte de 50% em 4 $\mu$ m. Com auxílio de um rotâmetro calibrado, a vazão da bomba é ajustada para 1,7L/min.

Figura 14 - Esquema de montagem do ciclone e cassete no dispositivo de fixação



Fonte: Adaptado de eLCOSH, 2016

O modelo de ciclone Dorr-Oliver segue o princípio básico de um ciclone separador de particulados suspensos em uma mistura gasosa. A sucção de ar pela parte superior do ciclone cria uma linha de ar vertical que se prolonga desde o fundo até o topo. A configuração interna em forma cônica e a entrada de ar lateral faz a corrente gasosa entrar tangencialmente pelo orifício em sentido descendente que acompanha a parede interna, criando na parte central, uma zona de baixa pressão. À medida que a corrente se aproxima do fundo, com a constrição do diâmetro interno, a corrente perde velocidade e é sugada para a zona central de menor pressão, e subseqüentemente é levada verticalmente para cima, carregando consigo as partículas de menor peso. As partículas mais pesadas são depositadas no reservatório inferior.

## 7.2 TRABALHO DE CAMPO

Até o presente momento, foi possível realizar a medição do nível de exposição à poeira respirável em duas atividades desempenhadas em dois diferentes departamentos apontadas pelo setor da segurança ocupacional como os mais críticos: a retificação de corpos de prova de concreto (Figura 15) no DEMACC, e o peneiramento de amostras de carvão vegetal e mineral (Figura 16) no DEQUIM.

Figura 15 - Retificadora



Figura 16 - Peneira de carvão



### 7.3 PROCEDIMENTO NO LABORATÓRIO

#### 7.3.1 Avaliação por espectrofotometria de infravermelho

Três são as bandas de absorção características a todos os polimorfos da sílica na região do infravermelho:  $1100\text{cm}^{-1}$  associada à vibração assimétrica Si-O ( $\leftarrow\text{Si-O}\rightarrow\leftarrow\text{Si}$ ),  $800\text{cm}^{-1}$  referente à vibração simétrica Si-O ( $\leftarrow\text{Si-O-Si}\rightarrow$ ), e  $480\text{cm}^{-1}$  às deformações Si-O-Si e O-Si-O (LIPPINCOTT et al., 1958; BRÜCKNER, 1970). O espectro deve contemplar no mínimo a região de  $1000\text{cm}^{-1}$  a  $600\text{cm}^{-1}$  pois a banda usada para quantificação é a do estiramento a  $800\text{cm}^{-1}$ .

A análise do espectro de infravermelho usando a banda de  $800\text{cm}^{-1}$  não diferencia entre as diferentes formas cristalinas da sílica, de interferência construtiva nessa banda, mas distingue entre cristais e amorfos: especialmente no caso do quartzo, a ausência de formas amórficas fica bem evidenciada pelo característico dubleto a  $800\text{cm}^{-1}$  (BURNEAU, 1990). Os amorfos promovem um alargamento da banda descaracterizando a forma de pico estreito (Figuras 17 e 18).

A leitura da sílica preparada em pastilha de KBr na região espectral do infravermelho é feita três vezes, com giros de  $90^\circ$  da pastilha entre leituras para contornar possível

heterogeneidade (sua homogeneidade é confirmada pela superposição dos três espectros – Figura 13). O teor de sílica na pastilha é a média simples das três leituras.

Figura 17 - Homogeneidade da pastilha e dubleto do quartzo a  $800\text{cm}^{-1}$  (res.  $4\text{cm}^{-1}$ )

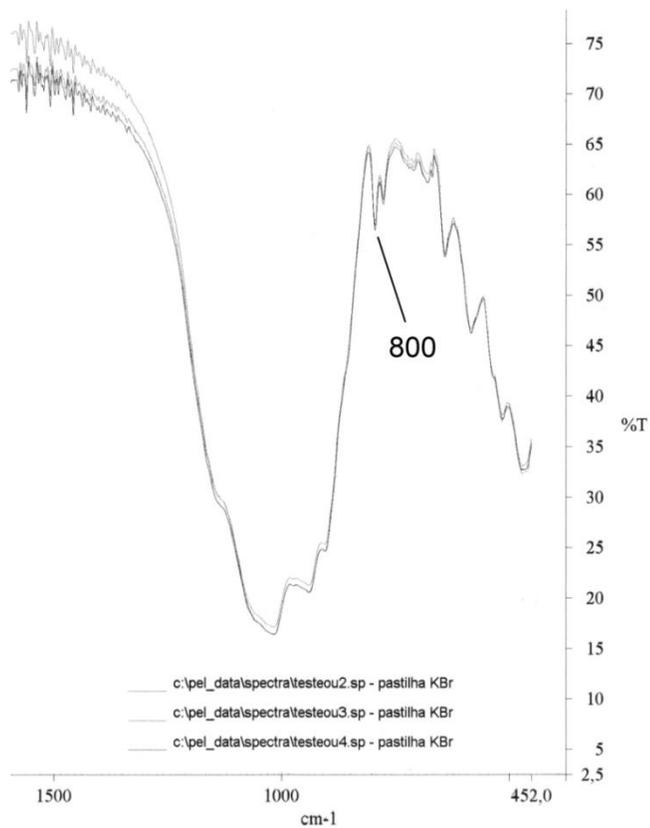
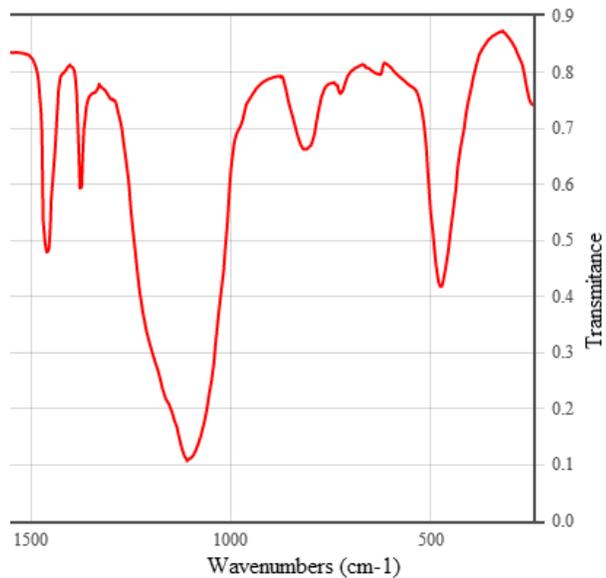


Figura 18 - Alargamento da banda a  $800\text{cm}^{-1}$  característico na sílica amorfa (res.  $2\text{cm}^{-1}$ )



Fonte: NIST database, 2016

O espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier utilizado foi da marca Perkin-Elmer modelo Spectrum BX, número de série 52223, com detector DTGS (sulfato de triglicina deuterado). Os espectros foram obtidos pelo software Spectrum versão V2.00 com resolução de  $4\text{cm}^{-1}$  e 16 varreduras, e a quantificação pelo software Wizard Spectrum Beer's Law.

### 7.3.2 Construção da curva padrão

A curva padrão foi confeccionada com 6 pontos tomados em triplicata a partir de uma solução sólida de padrão de quartzo BCR 66 (diâmetros de partícula de  $0,35\ \mu\text{m}$  a  $3,5\ \mu\text{m}$ ) em KBr Padrão Merck Uvasol (grau espectroscópico), de concentração  $5,185\ \mu\text{g}\ \text{SiO}_2/\text{mg}$ .

Diferentes massas da solução foram tomadas e misturadas a cerca de 100 mg de KBr para a confecção das pastilhas. A massa da pastilha pronta foi usada para corrigir a massa de sílica presente e a essa massa real foi atribuído o sinal obtido pela análise do espectro de infravermelho (altura). A curva padrão (figura 19) foi reconstruída manualmente (a partir da Tabela 5) pela impossibilidade de extrair os dados digitalmente do software. A variável dependente apresentada é a massa de sílica presente na pastilha para manter a configuração original (Anexo 2), quando na verdade a altura do sinal da absorvância é a variável dependente e deveria ser apresentada no eixo das ordenadas.

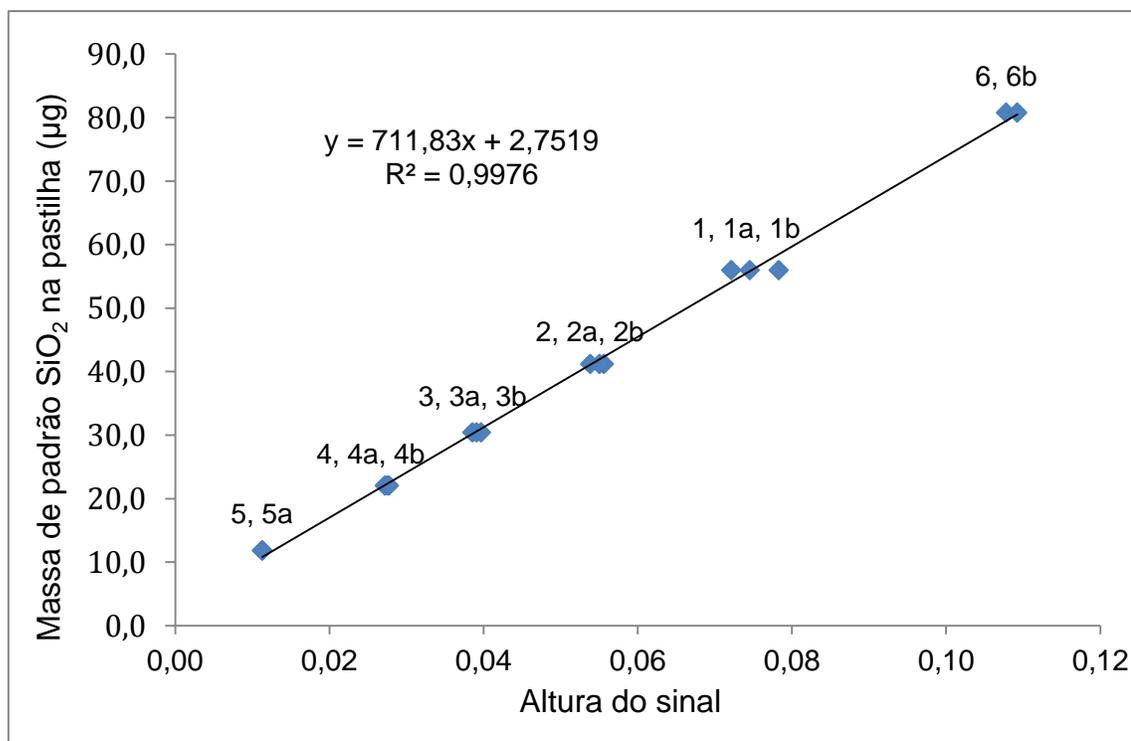
Cada pastilha produzida teve sua absorvância lida três vezes, com giros de  $90^\circ$  da pastilha entre medidas. Cada ponto nomeado "sílica" seguido de um numeral comum representa a mesma pastilha; a letra "a" representa o giro de  $90^\circ$  e a letra "b" representa a leitura do giro total de  $180^\circ$  da leitura inicial.

Tabela 5 - Pontos obtidos para construção da curva padrão

Ponto padrão	Massa de $\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{g}$ )	Absorvância a $800\text{cm}^{-1}$ (altura)	Residual
silica1	55,99	0,07832	2,6047
silica1a		0,07456	-0,0887
silica1b		0,07215	-1,8074
Silica2	41,20	0,05565	1,1751
Silica2a		0,05506	0,7593
Silica2b		0,05387	-0,0936
Silica3	30,43	0,03859	-0,2520

Ponto padrão	Massa de SiO <sub>2</sub> (µg)	Absorbância a 800cm <sup>-1</sup> (altura)	Residual
Silica3a	30,43	0,03913	0,1294
Silica3b		0,03971	0,5445
Silica4	22,06	0,02722	-0,0143
Silica4a		0,02754	0,2099
Silica4b		0,02775	0,3643
Silica5	11,84	0,01129	-1,1914
Silica5a		0,01135	-1,1458
Silica6	80,80	0,10782	-1,1114
Silica6b		0,10925	-0,0826

Figura 19 - Curva de calibração da sílica



### 7.3.3 Preparação da Amostra

Depois de realizada a coleta em campo, o cassete é removido do dispositivo, tem a entrada e saída tampadas com as cores inversas de antes da coleta (vermelho na entrada indicando que aquele cassete foi usado) e é encaminhado ao laboratório para pesagem do filtro

e registro dos sólidos respiráveis totais, por diferença. Posteriormente segue-se a preparação da amostra para a quantificação da sílica cristalina. O filtro é calcinado por duas horas a 600°C (800°C na presença de carbono).

Das cinzas é confeccionada a pastilha que é submetida à análise por infravermelho para determinação da concentração de sílica. A concentração recomendada de analito na pastilha de KBr gira em torno de 1%. A homogeneização é realizada em almofariz com auxílio de um pistilo, ambos de ágata, usando KBr grau espectroscópico previamente seco em estufa a 110°C. A mistura das cinzas e KBr é transferida para módulo pastilhador em prensa hidráulica com aplicação de pressão de 10 toneladas sob purga com linha de vácuo por no mínimo 3 minutos. É tomado nota da massa da pastilha para correção do valor da sílica presente.

## 8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bomba amostradora registra o tempo de coleta total. Através dessa informação se obtém o volume coletado, multiplicando o tempo pela vazão de trabalho previamente definida pelo ciclone empregado (Dorr-Oliver; 1,7L/min). A massa de poeira respirável total é obtida por diferença das massas do filtro antes e depois da coleta. Esses valores e a massa de sílica contida na poeira respirável obtida por FT-IR encontram-se na Tabela 5. Encontra-se no Anexo 3 a interface de resposta do resultado do aparelho para uma leitura.

Tabela 6 - Valores relevantes às coletas realizadas

IDENTIFICAÇÃO SETOR		DEMACC				DEQUIM	
Identificação da Coleta		SET03	SET04	SET05	OUT02	OUT01	OUT03
Volume Amostrado (L)		442,0	579,7	443,7	528,7	360,0	443,7
Massa do Filtro (mg)	Inicial	14,10	46,37	13,30	14,18	13,66	12,81
	Final	15,10	47,20	13,54	15,14	14,70	15,51
Poeira Respirável coletada (mg)		1,00	0,83	0,24	0,96	1,04	2,70
<b>Poeira Respirável (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>2,26</b>	<b>1,4</b>	<b>0,54</b>	<b>1,8</b>	<b>2,89</b>	<b>6,09</b>
Cinzas (mg)		0,4	0,5	0,2	0,4	0,4	0,7
SiO <sub>2</sub> (µg)		21,2	33,1	19,8	36,0	23,1	5,85
Média de dois Brancos (µg)		4,50					
SiO <sub>2</sub> real (µg)		16,7	28,6	15,3	31,5	18,6	1,35
Sílica respirável (mg/m <sup>3</sup> )		0,038	0,049	0,035	0,060	0,052	0,003
SiO <sub>2</sub> na poeira respirável (%)		1,68	3,5	6,5	3,3	1,80	0,05
<b>L.T. à Poeira Respirável contendo SiO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>2,18</b>	<b>1,5</b>	<b>0,95</b>	<b>1,5</b>	<b>2,12</b>	<b>3,9</b>
L. T. = $\frac{8}{\% \text{ quartzo} + 2}$ mg/m <sup>3</sup>							

L.T. = limite de tolerância, conforme NR 15

Dois parâmetros importantes podem ser levados em consideração ao se interpretar os dados obtidos da exposição dos trabalhadores à sílica cristalina: o mais recente limite de exposição estabelecido nos EUA pela OSHA, de 0,05mg de SiO<sub>2</sub> por metro cúbico de ar, vigente desde junho de 2016, e o limite indireto proposto pela legislação vigente no Brasil desde 1992, que se apropria do valor da concentração de sílica em percentual para gerar, a partir de uma fórmula, um limite de exposição à poeira que a contem.

Outro dado importante é que a nova resolução norte-americana estabeleceu uma faixa denominada nível de ação, em que a identificação de exposições iguais ou superiores a 0,025mg/m<sup>3</sup> devem resultar na adoção de medidas mitigatórias. A legislação brasileira não prevê tais medidas.

Considerando a legislação em vigor no Brasil, que não define um limite de exposição à sílica controlando as quantidade da poeira, somente dois resultados ficaram abaixo do limite tolerável: SET04, com exposição à poeira de 1,4 mg/m<sup>3</sup> frente o 1,5 mg/m<sup>3</sup> tolerável; e SET05, com concentração de 0,54 mg/m<sup>3</sup> frente a 0,95 mg/m<sup>3</sup> tolerável. Porém todos os outros resultados apresentaram exposição elevada à poeira contendo sílica, superior ao tolerável, exigindo providências de prevenção. No caso específico da coleta OUT03 realizada na atividade de preparo de amostras de carvão, a concentração de sílica foi muito baixa, porém a massa de poeira respirável foi a mais alta, fazendo ultrapassar o limite de exposição que tende a 4mg/m<sup>3</sup> para concentrações pequenas de sílica.

Conforme a regulação adotada pela OSHA, que aparenta se encontrar dentre as mais criteriosas do mundo, englobando um rebuscado estudo clínico e técnico, com exceção da coleta OUT03, todos os resultados exigiriam atenção, pois as exposições à sílica ultrapassaram a concentração de 0,025mg/m<sup>3</sup> no ar (linha “Sílica respirável mg/m<sup>3</sup>”, Tabela 6). Segundo a OSHA, as coletas SET03, SET04 e SET05 se encontram dentro da faixa do nível de ação, entre 0,025mg/m<sup>3</sup> e 0,05mg/m<sup>3</sup> e indicam que os funcionários devem passar por acompanhamento médico e a procedimentos na fonte da poeira devem ser tomados para a redução do risco à exposição, como instalação de sistema de exaustão. A necessidade de providências fica clara pelas coletas OUT02 e OUT01, que demonstram que as atividades monitoradas são potencialmente capazes de projetar mais sílica ao ar que o tolerável tanto do ponto de vista brasileiro como americano.

## 9. ANÁLISE DE CUSTOS

### 9.1 PREÇO PRATICADO POR LABORATÓRIOS NACIONAIS

Foram consultadas duas empresas de análises químicas da área da higiene ocupacional para se ter ideia do preço de mercado da análise de sílica respirável no ambiente. Uma empresa foi sugestão do engenheiro de segurança contratado pela CIENTEC, localizada em São Paulo (Laboratório A) e na opinião dele referência nacional no assunto; e a outra localizada no Rio Grande do Sul (Laboratório B).

A forma de trabalho do Laboratório A envolve enviar o cassete com o filtro pré-pesado via correio e a responsabilidade do ensaio fica a cargo do contratante. Na ausência de bomba e ciclone, estes podem ser alugados. Após a coleta realizada o cassete deve ser endereçado de volta à empresa para a quantificação. Valor orçado da análise sem considerar a postagem de reenvio: R\$300,00.

O laboratório B desloca um funcionário para a realização da coleta em Porto Alegre, e em seu orçamento já incluídos o transporte, o tempo de permanência, e o uso dos equipamentos. Valor de R\$320,00.

### 9.2 CUSTO INTERNO DA ANÁLISE

Dos itens necessários para a coleta da poeira respirável, a CIENTEC já dispõe de uma bomba amostradora. Os demais itens foram fornecidos pela empresa de segurança do trabalho contratada, durante a execução deste trabalho. Os itens de aquisição obrigatória para dar início ao ensaio de forma autônoma são um ciclone, que pode ser o modelo de alumínio que opera a 2,5L/min e assim pode diminuir o tempo total de análise; os cassetes de duas seções que são os que se adaptam a esse ciclone, membranas de suporte aos filtros; os filtros microporosos de PVC; e um rotâmetro calibrado para verificar a correta vazão de sucção da bomba. O investimento inicial estimado (Tabela 7) é de R\$3.274,00.

Além da instrumentação de coleta a ser adquirida, deve-se levar em conta uma reserva financeira para manutenções dos equipamentos e algumas calibrações, como são os casos dos desumidificadores da sala do infravermelho, as balanças e o próprio aparelho FT-IR. Há ainda alguns gastos gerais que não são substancialmente expressivos e seu custo é diluído nas

análises; entre esses o padrão de quartzo, cujas quantidades usadas são pequenas e o KBr grau espectroscópico que há em estoque.

Tabela 7 – Investimento inicial em instrumentação

Produto	Quantidade	Valor unitário (R\$)
Bomba de Amostragem	0	0
Ciclone de Alumínio SKC	1	777,00
Cassete 2 seções 50un	1	416,00
Membrana 37mm 100un	1	620,00
Rotâmetro e sua calibração	1	400,00
Filtros PVC 5µm 35mm 100un	1	1.061,00
TOTAL PREVISTO		3.274,00

Fonte: Faster Online

Considerando que do lote de 100 unidades de filtros de PVC se venha a fazer até 5 provas em branco, será possível realizar ao menos 95 análises. Considerando ainda que estará à disposição os equipamentos necessários e o deslocamento é possível com carro próprio da instituição, ao preço de R\$300 por análise, se pode obter ganhos de R\$28.500,00. Abatendo da receita gerada um possível custo operacional global de até R\$10.000,00 o retorno financeiro é bastante favorável, acima de 100%, demonstrando total viabilidade da implantação do procedimento operacional.

## 10. CONCLUSÕES

### 10.1 EXPOSIÇÃO À SÍLICA NA CIENTEC

Verificou-se que as duas atividades laborais monitoradas nesse primeiro momento devem receber atenção imediata de prevenção à exposição à sílica porque em pelo menos uma das medições realizadas seus níveis se apresentaram acima do tolerável. De imediato, se deverá assegurar que os funcionários expostos utilizam a máscara de categoria correta de filtro e possuem o devido treinamento para o adequado uso do equipamento de proteção individual (EPI) e estão cientes dos perigos da sílica.

Posteriormente se analisará de que forma se irá instalar os equipamentos de proteção coletiva (EPC) que possibilitem a captura da poeira produzida. Após essas medidas, mesmo que a exposição à sílica fique abaixo do limite tolerável brasileiro, nada impede de se basear na legislação norte-americana para que os funcionários sejam submetidos regularmente a acompanhamento médico para o monitoramento da capacidade pulmonária através de radiografias e espirometria.

### 10.2 NORMAS NACIONAIS EM VIGOR

Embora ousada, a motivação norteadora da Fundacentro de reduzir até 2030 a silicose como um problema de saúde pública vai ao encontro das políticas internacionais. Porém, sem apoio expressivo do Ministério Público do Trabalho na questão de uma agenda de políticas positivas de conscientização das empresas e a fiscalização, será muito difícil alcançar esse objetivo.

Também se observa a necessidade de atualização do atual limite de tolerância de exposição à sílica que é obtido através de uma fórmula que é indireto e relativiza o risco à sílica pela sua presença percentual na poeira. Ora, dessa forma o trabalhador pode estar exposto a grandes teores de sílica, porém se percentualmente na poeira que a contém não for um valor expressivo, o limite de tolerância fica elevado.

A regulação mais recente da OSHA, de 2016, apresenta um detalhado estudo das vidas que serão salvas pela redução proposta do limite de quantificação para  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  frente ao limite anterior de  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  que é a aproximação de se utilizar a fórmula proposta pela ACGIH décadas atrás e copiada pelo Brasil.

### 10.3 MERCADO

O combate à silicose ainda estará em pauta por muitos anos e inserir-se no mercado da higiene ocupacional denota ser uma estratégia promissora. Não somente a determinação da sílica é feita nesse molde, como também a mensuração da exposição a outros tantos agentes químicos que utilizam a mesma bomba, porém com formas um pouco diferentes da coleta do agente alvo e sua quantificação. Porém facilmente adaptáveis e factíveis.

Especificamente a respeito da sílica cristalina, se pode avaliar realizar uma parceria com a Fundacentro para se tornar o braço prático no sul para as verificações *in loco* dos teores de sílica a que estão expostos os trabalhadores, via contratação do Ministério Público do Trabalho, responsável pela fiscalização, potencializando o número de possíveis clientes.

## REFERÊNCIAS

ALGRANTI, E; HANDAR, Z; RIBEIRO, FSN; BON, AMT; SANTOS, AM; BEDRIKOW, B. **Exposição à Sílica, Silicose e o Programa Nacional de eliminação da Silicose no Brasil (PNES)**. Ciencia & Trabajo. Año 6, numero 11, Enero/Marzo 2004

BRÜCKNER, R. **Properties and Structure of Vitreous Silica**, I. JOURNAL OF NON-CRYSTALLINE SOLIDS 5. North-Holland Publishing Co. Max-Planck Institut für Silikatforschung. Würzburg, Germany, p. 123-175. 29 jan. 1970

BURNEAU, A; BARRÈS, O. **Comparative Study of the Surface Hydroxyl Groups of Fumed Spectroscopy and Precipitated Silicas**. 1990. Laboratoire de Spectrométrie de Vibrations, Université de Nancy I, B.P. 239. Langmuir, Vol. 6, No. 8, 1990 1364-1372

[CDC] Centers for Disease Control and Prevention – USA. National Occupational Respiratory Mortality System (NORMS) National Database. <<http://webappa.cdc.gov/ords/norms-national.html>> Acesso em 03 out. 2016

DEPARTMENT OF LABOR. Occupational Safety and Health Administration. Federal Register, March 25, 2016. **Occupational Exposure To Respirable Crystalline Silica; Final Rule**. 29 CFR Parts 1910, 1915, and 1926. Washington, D.C. v. 81, n. 58, p. 16285-16890. Book 2 of 3 Books.

[eLCOSH] Electronic Library of Construction Occupational Safety & Health <[http://elcosh.org/document/4037/d001402/personal+air+sampling+for+crystalline+%0Bsilica+exposure.html?show\\_text=1](http://elcosh.org/document/4037/d001402/personal+air+sampling+for+crystalline+%0Bsilica+exposure.html?show_text=1)> Acesso em 03 out. 2016

European Commission. **Commission proposes better workers' protection against cancer-causing chemicals**. Press Release Database Brussels, may 13, 2016. Disponível em <[http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-16-1655\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-1655_en.htm)>. Acesso em 11/11/2016

European Industrial Minerals Association. 2014. **Crystalline silica and health from a European industry perspective**. Disponível em <<http://www.crystallinesilica.eu/content/rcs-workplace-exposure-prevention>>. Acesso em 19/10/2016

[FUNDACENTRO] **Apresentação do Programa Nacional de Eliminação da Silicose (PNES)** FUNDACENTRO/SP, 18/06/2002 Disponível em <<http://www.fundacentro.gov.br/silica-e-silicose/apresentacao-do-programa>>. Acesso em 17 out. 2016

[FUNDACENTRO] **Programa Nacional de Eliminação da Silicose, Brasil – Completando uma década**. 2012. Disponível em <<http://www.fundacentro.gov.br/silica-e-silicose/noticias>>. Acesso em 17 out. 2016.

GARG, Kavita, MD Professor; JEDYNAK, Andrzej R; MD, MS Clinical Assistant Professor. **Imaging in Silicosis and Coal Worker Pneumoconiosis**. Department of Radiology, State University of New York Downstate Medical Center. Atualizado 15 de novembro de 2015. Disponível em <<http://emedicine.medscape.com/article/361778>> Acesso em 30 out. 2016

[IUPAC] International Union of Pure and Applied Chemistry (1990). **Glossary of atmospheric chemistry terms**. Applied Chemistry Division, Commission on Atmospheric Chemistry. Pure and Applied Chemistry 62 (11):2167-2219.

LIPPINCOTT, Ellis R.; VALKENBURG, Alvin Van; WEIR, Charles E.; BUNTING, Elmer N. **Infrared Studies on Polymorphs of Silicon Dioxide and Germanium Dioxide**. JOURNAL OF RESEARCH OF THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS Vol. 61, No.1, July 1958. Research Paper 2885

MINISTÉRIO DA SAÚDE Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC N° 14**, de 28 de Março de 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria GM nº 3214, de 8 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora 9: PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS**. BRASÍLIA, DF.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria MTb nº 3214, de 8 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora 15: ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES**. BRASÍLIA, DF.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico NHO 08: Coleta de Material Particulado Sólido Suspenso no Ar de Ambientes de Trabalho**. FUNDACENTRO 2009

[NDT] Nondestructive Testing Resource Center <<https://www.nde-ed.org/>> Acesso em 20 out. 2016

[NIOSH]. National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods. **Silica, Crystalline by Infra-Red (KBr Pellet)** Method: 7602, Issue 3, 15 March 2003

[NIOSH] National Institute for Occupational Safety and Health Manual of Analytical Methods. **DETERMINATION OF AIRBORNE CRYSTALLINE SILICA CHAPTER O**. 2003. Paul A. Baron, Ph.D., NIOSH/DART.

[NIOSH] National Institute for Occupational Safety and Health Manual of Analytical Methods **DETERMINATION OF AIRBORNE CRYSTALLINE SILICA CHAPTER R 2003** by Rosa J. Key-Schwartz, Ph.D., NIOSH/DART; Paul A. Baron, Ph.D., NIOSH/DART; David L. Bartley, Ph.D., NIOSH/DART; Faye L. Rice, NIOSH/EID, and Paul C. Schlecht, NIOSH/DART.

[NIST] National Institute of Standards and Technology, USA. Database <[www.nist.gov](http://www.nist.gov)> Acesso em 15 nov. 2016.

OJIMA, Jun. **Gaseous Contaminant Distribution in the Breathing Zone**. 2011. NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, Japan. *Published online in J-STAGE March 28, 2012*. Industrial Health 2012, **50**, 236–238

OSHA Occupational Safety and Health Administration, USA <<https://www.osha.gov/>> e <[https://www.osha.gov/dsg/etools/silica/measure\\_amount/measure\\_amount.html](https://www.osha.gov/dsg/etools/silica/measure_amount/measure_amount.html)> Acesso em 08 nov. 2016.

RIBEIRO, Fátima Sueli Neto. **O mapa da exposição à sílica no Brasil**. Rio de Janeiro: UERJ, Ministério da Saúde, 2010.

SKC, inc. Sampling Technologies. <<https://www.skcinc.com/catalog/index.php>> Acesso em 09 out. 2016.

The Quartz Page <[http://www.quartzpage.de/gen\\_mod.html](http://www.quartzpage.de/gen_mod.html)> Acesso em 14 out. 2016

VARKEY, Basil; VARKEY, Anita B. **Silicosis**. 2015. Department of Internal Medicine, Division of Pulmonary and Critical Care, Medical College of Wisconsin. Disponível em: <<http://emedicine.medscape.com/article/302027>>. Acesso em: 29 out. 2016.

[WHO] GOHNET The Global Occupational Health Network, **Elimination of Silicosis**. 2007. Issue no. 12. Disponível em <[http://www.who.int/occupational\\_health/publications/newsletter/gohnetarchives/en/](http://www.who.int/occupational_health/publications/newsletter/gohnetarchives/en/)>

[WHO] World Health Organization. **Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust**. WHO/SDE/OEH/99.14 Disponível em [http://www.who.int/occupational\\_health/publications/en/](http://www.who.int/occupational_health/publications/en/). Acesso em 27 out. 2016.

World Bank Open Data. **Life expectancy at birth, male – USA**. Disponível em <<http://data.worldbank.org/>> Acesso em 02/11/2016

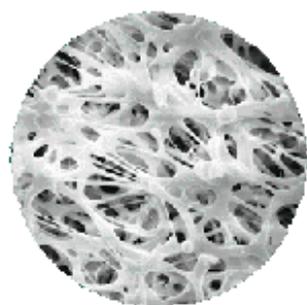
## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Especificações de um modelo de filtro de PVC comercializado



## PVC Membrane Filters



Polyvinyl Chloride (PVC) Membrane Filters, GLA-5000

- Excellent membrane choice for sampling airborne metals, silica, and dust.
- Pure homopolymer PVC
- Inherently low ash membrane ideally suited for multiple NIOSH analytical methods
- Assure gravimetric stability. Low moisture pick-up and low tare weight.
- Low ash. Provides interference-free silica determinations.
- Meets NIOSH and OSHA requirements.

### Specifications

Material: Polyvinyl chloride (PVC)

Brand Name: GLA-5000

Color: white

Surface: plain

Operating temperature (water): 52 °C max.

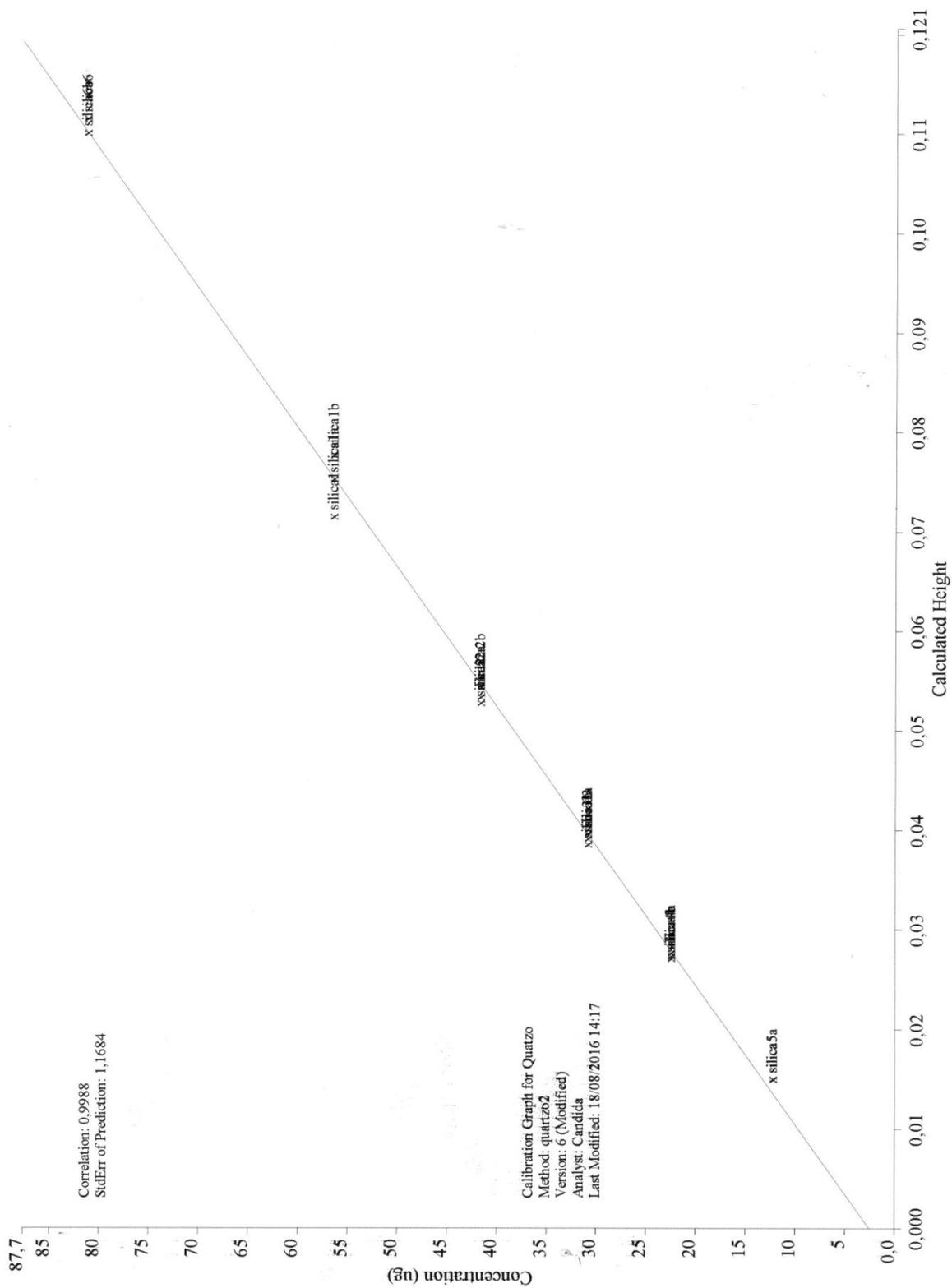
Gravimetric Stability: < 0.5% after 24 hrs at 48% relative humidity at 50 °C (122 °F)

Product Code	Pore Size (µm)	Ash Content	Air Flow Rate (L/min/cm <sup>2</sup> )	Aerosol Retention (typical)
FPVCS**	5	<1%	53 L/min/cm <sup>2</sup> at 0.7 bar (70 kPa, 10 psi)	99.94% 0.3 µm (DOP) at 32 L/min/100 cm <sup>2</sup> of filter media (ASTM D 2986-95A)

\*\* indicates the filter diameter.

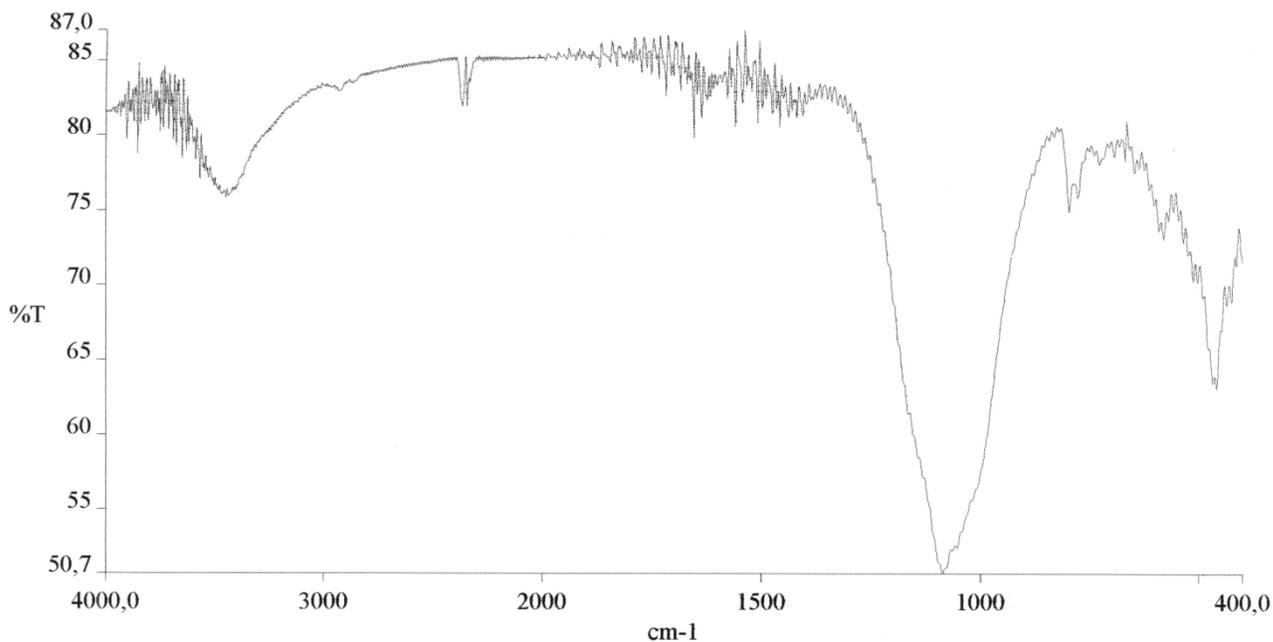
## ANEXO 2

## Curva Padrão de Sílica cristalina



## ANEXO 3

Resultado gerado pelo equipamento



TESTESE1.SP - 20/10/16 - DEMACC - 20-10-2016- pastilha KBr

Prediction Report for Sample: testesel.sp

## Analysis:

Date/Time: 20 Oct 2016 15:03:12  
Analyst: Candida  
Comment:

## Sample:

Name: c:\pel\_data\spectra\testesel.sp  
Comment: DEMACC - 20-10-2016- pastilha KBr

## Method:

Name: c:\pel\_data\quant\methods\quartzo2.uqm  
Version: 6 (Modified)  
Description: curva padrao de quartzo  
Comment: atualizacao

Last Modified: 18/08/2016 14:17

Component:	Concentration:	Error of Prediction:
Quatzo	20,2251 ug	2,4135