

CENTRO UNIVERSITÁRIO POSITIVO-UNICENP  
DARCI MARTINS BRAGA

**CARACTERIZAÇÃO E ASSOCIAÇÃO COM SINTOMAS RESPIRATÓRIOS DO  
MATERIAL PARTICULADO SUSPENSO NO AR: O CASO DE COLOMBO-PARANÁ**

CURITIBA

2007

DARCI MARTINS BRAGA

**CARACTERIZAÇÃO E ASSOCIAÇÃO COM SINTOMAS RESPIRATÓRIOS DO  
MATERIAL PARTICULADO SUSPENSO NO AR: O CASO DE COLOMBO-PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão Ambiental do curso de mestrado Profissional em Gestão Ambiental, Centro Universitário Positivo UnicenP.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Henrique Moreton Godoi.

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Flávia Locateli Godoi

CURITIBA

2007

Dados Internacionais de catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca do UnicenP - Curitiba – PR

B813 Braga, Darci Martins.

**Caracterização e associação com sintomas respiratórios do material particulado suspenso no ar : o caso de Colombo-Paraná / Darci Martins Braga. – Curitiba : UnicenP, 2007.**

100p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Estudos Superiores Positivo – UnicenP, 2007.

Orientador : Ricardo Henrique Moreton Godoi

Banca examinadora : Paulo Roberto Janissek,

Marco Aurélio S. Carvalho Filho, Heitor

Evangelista da Silva.

1. Ar – Poluição. 2. Aparelho respiratório – Doenças. I. Título.

CDU 504.3.054

**TÍTULO: “CARACTERIZAÇÃO E ASSOCIAÇÃO COM SINTOMAS  
RESPIRATÓRIOS DO MATERIAL PARTICULADO SUSPENSO NO AR: O CASO  
DE COLOMBO-PR”.**

*ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM GESTÃO AMBIENTAL (área de concentração: gestão ambiental) PELO PROGRAMA DE MESTRADO EM GESTÃO AMBIENTAL DO CENTRO UNIVERSITÁRIO POSITIVO – UNICENP. A DISSERTAÇÃO FOI APROVADA EM SUA FORMA FINAL EM SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA, NO DIA 25 DE ABRIL DE 2007, PELA BANCA EXAMINADORA COMPOSTA PELOS SEGUINTESS PROFESSORES:*

- 1) Profº. Ricardo Henrique Moreton Godoi - UnicenP - (Presidente);*
- 2) Profª. Ana Flávia Locateli Godoi - UnicenP - (Co-orientadora);*
- 3) Profº. Heitor Evangelista da Silva, examinador externo, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro Biomédico, Departamento de Biofísica e Biometria;*
- 4) Profº. Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho, UnicenP;*
- 5) Profº. Paulo Roberto Janissek, UnicenP.*

*CURITIBA – PR, BRASIL*

*PROF. MAURÍCIO DZIEDZIC  
COORDENADOR DO PROGRAMA DE MESTRADO EM GESTÃO AMBIENTAL*

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, pelo seu imenso amor revelado em Jesus Cristo para minha vida.

Aos meus pais pelo esforço para minha formação profissional.

A minha esposa, sempre companheira e incentivadora em todos os momentos.

Aos meus filhos, bênçãos de Deus na minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores sempre presentes, constantes e auxiliando no na elaboração desta dissertação.

Ao Centro Universitário Positivo-UNICENP que incentiva a seus professores ao contínuo aperfeiçoamento.

À Universidade de Antuérpia-Bélgica, na pessoa do Professor René Van Grieken, pela colaboração relevante nas análises químicas desta dissertação.

## **EPIGRAFE**

“Bem-aventurado é o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire o conhecimento”

**Provérbios de Salomão 3:13**

## RESUMO

Material particulado suspenso na atmosfera traz importantes conseqüências para a saúde humana, interferindo também na visibilidade e no clima. Especificamente a exposição crônica a certos aerossóis tem sido associada ao aumento da incidência de asma e outras doenças respiratórias, como as pneumoconioses que causam perda da função pulmonar. Dois importantes parâmetros podem ser levados em conta nesse contexto, a fração respirável de partículas aerossóis submicrométricas e a sua composição, pois tais partículas podem penetrar e se depositar no alvéolo pulmonar causando doenças.

Colombo, uma cidade de aproximadamente 200.000 habitantes da região metropolitana de Curitiba, capital do Estado do Paraná, produziu entre 2000 e 2004 mais de três milhões de toneladas de cal, sendo tal atividade importante geradora de material particulado. Na presente pesquisa caracterizou-se o material particulado do ar na região central do município de Colombo, onde se reúnem indústrias de cal. As amostras coletadas, foram analisadas quanto aos aspectos químico e morfológico, com relação ao tamanho das partículas, distribuição e classificação de acordo com os elementos que as compõem, bem como suas concentrações. Utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura acoplado a uma micro-sonda para análise individual das partículas (MEV), através do qual foram identificados, semi-quantitativamente, além dos elementos convencionais, componentes de baixo número atômico como C, N e O. A partir dos resultados obtidos por microscopia eletrônica de varredura, foram realizadas simulações de deposição no sistema respiratório humano. Para determinar as concentrações dos elementos nas partículas totais, as amostras foram submetidas à espectroscopia por fluorescência de raios-X (FRX) e com o cálculo do fator de enriquecimento demonstrou-se de fonte antropogênica o material particulado encontrado.

Além da análise laboratorial do material particulado da atmosfera, foram realizadas entrevistas com a população residente nas proximidades das indústrias de cal através de um questionário sobre doenças respiratórias. Na comparação com outra população entrevistada que reside distante das indústrias de cal, observou-se uma maior incidência dos sintomas respiratórios na população que reside próxima dessas indústrias, afetando principalmente as crianças, o que reforçou a justificativa para nosso estudo.

Palavras chaves: material particulado, cal, sintomas respiratórios, poluição atmosférica.

## ABSTRACT

Airborne particles in the atmosphere have important consequences for health, visibility, climate, and human welfare in general. The chronic exposure to particulates has been associated with increased rates of asthma and other respiratory sicknesses, like the pneumoconiosis that causes loss of lung function. Two important parameters should be taken in account in this context; the respirable fraction of submicrometric aerosol particles, and its composition, that can penetrate into the alveolus of the lungs, causing diseases. Colombo is a city near Curitiba (capital of Paraná states) with 200,000 inhabitants. Between 2000 and 2004, approximately 3 million ton of lime was produced in this city, this activity is important generator of aerosol particles. In the present research, aerosol particles were characterized in the central region of Colombo city, where concentrates lime industries. Samples were further analyzed for chemical and morphological aspects, determining the particle size distribution and classifying them according to elemental composition. By the application of the low-Z EPMA technique, the chemical composition of individual particles can be quantitatively elucidated, including low-Z components like C, N and O, as well as higher-Z elements. With this results, simulation of deposition in the respiratory system were performed. Information concerning the bulk composition is provided by EDXRF. Enrichment factor was calculated, showing that the aerosol particles founded were from anthropogenic source. Besides the analysis of aerosol particles, it was applied a questionnaire about respiratory diseases to the population that lives near the lime industries. Comparing to another population that lives far from the limes industries, it was founded more incidence of symptoms of respiratory diseases in those who lives near. Affecting more children, which reinforced the worry about the influence of the air quality to the population health of Colombo city.

Key words: aerosol particles, lime, respiratory symptoms, air pollution.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Potencial de deposição de material particulado no trato respiratório conforme tamanho de partícula inalada.	24
Figura 2 – Percentual de internamento hospitalar devido a doença respiratória distribuído por faixa etária, nos municípios de Colombo e São José dos Pinhais, no ano de 2005	35
Figura 3 – Percentual de mortalidade devido a doenças do aparelho respiratório distribuída por faixa etária nos municípios de Colombo e São José dos Pinhais, no ano de 2005	35
Figura 4 - Aspecto de “neve” sobre a vegetação de Colombo	36
Figura 5 - Desenho esquemático de forno de cal vertical	39
Figura 6 – Entrada do combustível serragem no forno de cal	40
Figura 7 – Comportas da base do forno de cal operadas manualmente	41
Figura 8- Mapa geológico do Paraná em relação ao calcário	43
Figura 9 - Trabalhador da indústria de cal desprovido de EPI	45
Figura 10- Pontos A e B de amostragem	48
Figura 11 – Sistema de amostrador instalado no ponto A	48
Figura 12- Amostrador <i>May Impactor</i>	49
Figura 13- Princípio do método de FRX	51
Figura 14 - Equipamento Epsilon 5 HE-P-EDXRF	52
Figura 15– Ilustração do funcionamento do MEV	55
Figura 16 – Microscópio Eletrônico de Varredura Jeol JXA-733 acoplado a uma microsonda	55
Figura 17 - Agentes Comunitários de Colombo nas entrevistas domiciliares	63
Figura 18 Localização do Ponto B de amostragem	66
Figura 19 – Sintomas respiratórios em moradores residentes próximos e distantes da indústria de cal do ponto B de amostragem em percentual de sintomas.	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar	20
Tabela 2 - Parâmetros e padrões da qualidade do ar vigentes no Brasil	21
Tabela 3 - Morbidade Hospitalar - Município: Colombo/PR Distribuição Percentual das Internações por Grupo de Causas e Faixa Etária CID10 (por local de residência)2005	32
Tabela 4- Morbidade Hospitalar - Município:São José dos Pinhais / PR. Distribuição Percentual das Internações por Grupo de Causas e Faixa Etária CID10 (por local de residência) 2005.	33
Tabela 5 – Mortalidade no município de Colombo/PR. Mortalidade Proporcional (%) por Faixa Etária Segundo Grupo de Causas CID10. 2004	34
Tabela 6 - Mortalidade no município de São José dos Pinhais/PR Mortalidade Proporcional (%) por Faixa Etária Segundo Grupo de Causas - CID10. 2004	34
Tabela 7 - Produção de cal em Colombo no período de 1995 a 2004	45
Tabela 8 – Concentração elementar total em $\text{ng/m}^3$ nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro 2005 e 02 de Janeiro de 2006 no ponto A	65
Tabela 9 - Concentração elementar total em $\text{ng/m}^3$ nas amostras coletada em Colombo entre 30 de Dezembro 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B	35
Tabela 10 – Concentração elementar da fração maior que $10 \mu\text{m}$ em $\text{ng/m}^3$ nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro 2005 e 02 de Janeiro de 2006 no ponto A	67
Tabela 11 – Concentração elementar da fração maior que $10 \mu\text{m}$ em $\text{ng/m}^3$ nas amostras coletadas em Colombo entre 30 de Dezembro 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B	68
Tabela12 – Concentração elementar da fração de 2 a $10 \mu\text{m}$ encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro de 2005 a 02 de janeiro de 2006 no ponto A	68
Tabela 13 - Concentração elementar da fração de 2 a $10 \mu\text{m}$ encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 30 de Dezembro 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B	69

Tabela 14 - Concentração elementar da fração de 0,4 a 2 $\mu\text{m}$ encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro de 2005 a 02 de janeiro de 2006 no ponto A	69
Tabela 15 – Concentração elementar da fração de 0,4 a 2 $\mu\text{m}$ encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 30 de Dezembro de 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B	69
Tabela 16 – Fator de Enriquecimento para as concentrações dos elementos encontrados nas amostras do ponto A tendo como referência o elemento Si	71
Tabela 17 – Fator de Enriquecimento para as concentrações dos elementos encontrados nas amostras do ponto B tendo como base o elemento Si	72
Tabela 18 - Abundância relativa dos grupos obtida pela análise por MEV do aerosol coletado em Colombo no ponto A	74
Tabela 19 - Abundância relativa dos grupos obtida pela análise por MEV do aerosol coletado em Colombo no ponto B	75
Tabela 20 – Simulação da deposição pulmonar de partículas de CaOMgO	77
Tabela 21 - Distribuição dos sintomas nos moradores próximos e distantes das indústrias de cal	79
Tabela 22 – Percepção da poluição por domicílio.	80

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1 QUALIDADE DO AR .....	16
2.1.1 Poluição atmosférica .....	16
2.1.2 Material particulado e a legislação .....	18
2.2 OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE .....	22
2.2.1 Material particulado e doença cardiovascular.....	24
2.2.2 Material particulado e doenças respiratórias .....	25
2.2.2.1 Doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC).....	25
2.2.2.2 Pneumoconioses.....	25
2.2.3 Internações e mortes por doenças pulmonares .....	30
2.3 A INDÚSTRIA DE CAL.....	38
2.3.1 O processo de produção de cal.....	38
2.3.1.1 Extração e preparação da matéria-prima .....	38
2.3.1.2 Calcinação e hidratação .....	39
2.3.2 Emissões atmosféricas e produção de cal .....	43
2.3.2.1 Material particulado e metais .....	44
2.3.2.2 Poluentes gasosos.....	44
2.3.3 A produção de cal em Colombo.....	44
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	46
3.1 AMOSTRAGEM .....	46
3.1.1 Caracterização dos pontos.....	46
3.1.2 Coleta.....	46

3.1.3 Equipamentos.....	47
3.2 ANÁLISE DAS AMOSTRAS E OS PRINCÍPIOS DOS MÉTODOS.....	50
3.2.1 Espectrometria por fluorescência de raios-X – FRX.....	50
3.2.1.1 Condições experimentais da análise do material total ( <i>bulk</i> ).....	52
3.2.1.2 Fator de enriquecimento .....	53
3.2.2 Condições experimentais da análise de partículas individuais por MEV-EDS.....	54
3.2.2.1 Análise de partículas individuais encontradas por MEV-EDS.....	56
3.2.3 Simulação de deposição pulmonar .....	61
3.3 REALIZAÇÃO DE ENTREVISTAS DOMICILIARES .....	62
<b><u>4 RESULTADO E</u></b>	
<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>64</b>
4.1 Análises por FRX .....	64
4.1.1 Fator de enriquecimento.....	70
4.2 Análise por MEV-EDS.....	72
4.3 Simulação de Deposição Pulmonar.....	76
4.4 Questionário de doenças respiratórias e percepção de poluição ambiental.....	78
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>82</b>
<b>6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A relação do ser humano com o meio ambiente é tão antiga quanto à própria existência da humanidade. Diversas ciências já mencionaram essa relação. Segundo Carvalho (2000) “a teoria da influência do meio sobre os homens, e por extensão, aos povos, pode ser considerada como o mais antigo paradigma da Geografia”. A importância do ar para a saúde humana é também de longa data reconhecida pela medicina. Em 400 a.C o médico grego Hipócrates, em sua obra intitulada “Ares, Águas e Lugares”, ressalta a importância, para o médico, de conhecer a influência do ambiente em que vive o paciente para sua condição de saúde (LAURENTI prefaciando PHILIPPI JR, 2005). Mesmo antes da era bacteriológica, os médicos já admitiam a participação do ar na transmissão de doenças:

A febre era atribuída aos deuses, ou mais especificamente ao ar impuro – malária significa, em italiano, o tremor de frio provocado pelas emanções venenosas dos Pântanos. Foram necessárias as pragas devastadoras da Idade Média para que se começasse a suspeitar de que algo *sólido* pode transmitir doenças de uma pessoa para outra. Em 1546, um médico jovial e poeta de Verona, Hieronymus Fracastorius (1483-1553) dizia no *De Contagione* que as epidemias que assolavam as margens do Lago Garda progrediam por meio de sementes invisíveis. Essas sementes propagavam-se rapidamente, levadas pela respiração ou pelo ar (...). (GORDON, 1997 p. 20).

Durante o período do Iluminismo (século XVIII), as influências de Willian Harvey, devido a suas descobertas no século anterior sobre o sistema circulatório e respiratório, apareceram na arquitetura urbana com um modelo de cidade que permitisse maior circulação das pessoas e renovação do ar, estando esse aspecto relacionado com a manutenção da saúde coletiva (SENNETT, 1977). Na era bacteriológica no século XIX, onde Pasteur provou a existência de microorganismos causadores de doenças nos seres humanos, enfatizou-se ainda mais a importância do ar na transmissão das doenças como a tuberculose (GORDON, 1997).

Na era moderna, com o avanço da produção industrial em todo o planeta, o ar passou a ter maior relevância para a saúde humana, devido ao imenso crescimento da poluição

atmosférica (CAMARGO, 2003). Esse aumento da poluição atmosférica tem gerado discussões mundiais para tentar minimizar o problema, que além de trazer adoecimento e mortes por causas respiratórias, passou a ser uma ameaça em potencial à própria sobrevivência do ser humano no planeta através do aquecimento global (NATURE, 2007). Tal preocupação levou a Organização das Nações Unidas (ONU) a promover vários encontros e conferências específicas para discutir o tema ambiental como foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de Estocolmo em 1972 e do Rio de Janeiro em 1992 (CNUMAD, 1997) e mais recentemente em Paris em 2007 (NATURE, 2007). Desses eventos surgiu a definição de desenvolvimento sustentável como sendo “um modelo de desenvolvimento que atenda as necessidades das gerações atuais sem comprometer as gerações futuras” (NOBRE, 2002). Além disso, os países participantes assumiram o compromisso de cumprir as metas estabelecidas na Conferência da Terra, ou RIO-92, que constam de um documento que ficou conhecido como Agenda 21, para atingir o desenvolvimento sustentável do planeta no século XXI (CNUMAD, 1997).

Apesar da discussão ambiental ter tomado proporções mundiais, situações de agressão ao meio ambiente continuam bastante frequentes em nosso país, com impactos relevantes também para a saúde da população. Esses aspectos são ainda mais relevantes para a saúde do trabalhador, uma vez que os processos produtivos industriais, de um modo geral, representam o elo existente entre saúde ambiental e saúde do trabalhador. Os processos de produção, com suas etapas de obtenção e transporte da matéria-prima, processo de transformação em produto final no interior das empresas e destinação final, são geradores dos resíduos capazes de impactar a saúde do trabalhador e que pode afetar toda a população (ROUQUAYROL, 2003).

Existem atividades laborais, que há muito tempo são de longa data consideradas insalubres no Brasil, tendo ensejado inclusive, leis trabalhistas que proporcionam aposentadoria precoce a esses trabalhadores. Esse fato ocorre, por exemplo, nos diversos tipos de minas subterrâneas

existentes no Brasil, onde o alto grau de exposição ao material particulado suspenso no ar leva os trabalhadores à incapacidade física precoce por doenças ocupacionais (MENDES, 1997). Essas doenças são chamadas genericamente de pneumoconioses que na definição da Organização Internacional do trabalho (OIT) são doenças pulmonares causadas por acúmulo de poeira nos pulmões e reação tissular à presença dessas poeiras (ALGRANTI e CAPITANI apud LOPES, 2006).

Na exploração do calcário em minas superficiais para a produção de cal que é utilizado em construção civil e agricultura, dentre outras aplicações há grande emissão de material particulado na atmosfera (CRUMP, 2000). No município de Colombo, situado na região metropolitana da capital do Estado do Paraná, existem várias indústrias de cal em funcionamento. Entretanto, o risco para a população ainda não foi devidamente estabelecido. A dificuldade de estabelecer tal risco é salientada por Cardoso (Apud PHILIPPI JR. 2005), quando refere que “a magnitude da morbidade total atribuída a exposições ambientais é incerta devido a problemas como o tipo e qualidade dos dados de saúde disponíveis e a grande flutuação observada nos níveis de poluição ambiental”. Daí a relevância da caracterização do material particulado em uma área restrita, como realizado em nosso estudo.

O presente estudo objetivou a caracterização do material particulado da atmosfera próximo ao centro da cidade de Colombo, através da determinação da quantidade e qualidade desse material presente no ar bem como determinar a vinculação do mesmo com a atividade de produção das indústrias de cal. Procurou concomitantemente, estabelecer correlação de causalidade desse material particulado suspenso no ar sobre agravos à saúde da população residente próxima dessas indústrias.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 QUALIDADE DO AR**

#### **2.1.1 Poluição atmosférica**

Podemos vincular a poluição do ar de origem antrópica a partir de quando o homem dominou o uso do fogo. Desde então, essa ação humana somente aumentou no planeta, desde a prática de queimadas para a agricultura até a invenção de máquinas que consomem combustíveis, produzindo algum tipo de emissão para a atmosfera. A poluição do ar passou a ser considerada um problema mais abrangente, com repercussão para a saúde pública, a partir da Revolução Industrial, quando teve início o sistema urbano atual (BRANCO, 1995).

Segundo o glossário ambiental (GEPAM, 2006) considera-se poluição do ar, ou poluição atmosférica, a acumulação de qualquer substância ou forma de energia no ar, em concentrações suficientes para produzir efeitos mensuráveis no homem, nos animais, nas plantas ou em qualquer equipamento ou material, em forma de particulados, gases, gotículas ou qualquer de suas combinações.

Torres e Martins (2006) afirmam que a variedade de substâncias que podem estar presentes na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Entretanto, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 1999), os poluentes atmosféricos podem ser classificados de acordo com a forma de sua emissão e formação em duas categorias:

1. Poluentes primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão. Por exemplo, as emissões dos veículos movidos a combustíveis fósseis que emitem CO, CO<sub>2</sub> e fuligem.
2. Poluentes secundários: aqueles formados na atmosfera, através da reação química, entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera, como o O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

Se considerado o estado físico do poluente, teremos ainda a divisão em gases e vapores que se apresentam na forma molecular:

- compostos de enxofre (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, sulfatos);
- compostos de nitrogênio (NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, nitratos);
- compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos);
- monóxido de carbono e dióxido de carbono (CO, CO<sub>2</sub>);
- compostos halogenados (HCl, HF, cloretos, fluoretos);

e material particulado:

- poeiras: partículas sólidas, geralmente formadas por processo de desintegração mecânica (poeira de rua, pó de pedra produzido por mineração, poeira de cimento em construção, etc.);
- fumos: partículas sólidas formadas por condensação de substâncias gasosas (fumos de chumbo, de alumínio, etc.);
- fumaça: partículas principalmente sólidas, provenientes da combustão de combustíveis fósseis ou madeira;
- névoa: partículas líquidas produzidas por condensação ou por dispersão de um líquido (névoas de ácido sulfúrico, névoa de pesticida, etc.).

Na mesma classificação da OMS, o material particulado total em suspensão (PTS), pode ainda ser classificado de acordo com o diâmetro das partículas em:

- partículas inaláveis (PI): partículas com diâmetro aerodinâmico médio menor do que 10 $\mu$ m (PM 10);
- partículas inaláveis finas: partículas com diâmetro aerodinâmico menor do que 2,5  $\mu$ m (PM 2,5).

No processo de contaminação atmosférica, além das fontes de emissão, são também relevantes a concentração dos poluentes e suas interações do ponto de vista físico (diluição, que depende do clima e condições meteorológicas) e químico (reações químicas atmosféricas e radiação solar), além do grau de exposição dos receptores (ser humano, outros animais, plantas, materiais). É importante salientar, que mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, que determinam maior ou menor diluição dos poluentes (TORRES e MARTINS, 2006).

Durante o inverno, por exemplo, as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes e por isso compromete a qualidade do ar:

Durante os meses de inverno ocorre o fenômeno atmosférico conhecido por “inversão térmica”. Trata-se da conjunção de alguns fatores meteorológicos e climáticos que favorecem a estagnação atmosférica, dificultando a diluição dos poluentes. A intensiva redução das correntes convectivas verticais é devida à ocorrência de um determinado perfil vertical de distribuição de temperaturas, que induz a permanência das camadas mais frias em níveis próximos à superfície, especialmente nas manhãs de dias frios e ensolarados. A ausência de correntes horizontais contribui para o agravamento do problema. (BRANCO, 1995).

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera define o nível de qualidade do ar, que determina, por sua vez, o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, o homem, os animais, os materiais e as plantas (TORRES e MARTINS, 2006). Portanto a determinação sistemática da qualidade do ar deve ser uma preocupação constante de autoridades sanitárias e ambientais para preservar a saúde humana e o meio ambiente.

### 2.1.2 Material particulado e a legislação

A denominação de material particulado (MP) designa uma classe de poluentes constituída de partículas que, devido ao seu pequeno tamanho, se mantém suspensas na atmosfera, constituindo os aerossóis. São várias as fontes emissoras desses poluentes, desde a fuligem emitida pelos veículos até as fumaças expelidas pelas chaminés industriais, queimadas de biomassa na agricultura e incêndios florestais, passando pela própria poeira depositada nas ruas e re-suspensa pelo vento (BRANCO, 1995).

Até 1989 a legislação brasileira preocupava-se apenas com as “partículas totais em suspensão”, ou seja, com todos os tipos e tamanhos de partículas que se mantêm suspensas no ar (partículas menores que 100  $\mu\text{m}$ ). No entanto, à medida que pesquisas mostraram que partículas com diâmetro aerodinâmico médio menor do que 10 $\mu\text{m}$  penetram mais profundamente no aparelho respiratório e apresentam maiores riscos à saúde, a legislação brasileira passou também a se preocupar com as “partículas inaláveis”, a partir de 1990 (TORRES e MARTINS, 2006).

Através da Portaria Normativa nº. 348 de 14/03/90, o IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados através da Portaria GM 0231 de 27/04/76. Os padrões estabelecidos através dessa portaria foram submetidos ao CONAMA em 28.06.90 e transformados na Resolução CONAMA nº. 03/90. Nessa resolução são estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar:

1. padrões primários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes que, ultrapassados, poderão afetar a saúde da população e podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazos.

2. padrões secundários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar base para uma política de prevenção da degradação e portanto de manutenção da qualidade do ar até para as futuras gerações. Deve ser aplicado a áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas etc.). Não se aplicam, pelo menos em curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários que visam à minimização do risco à saúde humana no momento atual (CONAMA, 1990)

Ainda segunda a mesma resolução do CONAMA existe um critério para episódios agudos da poluição do ar baseados na concentração de partículas inaláveis no período de vinte e quatro horas (tabela 1) e os parâmetros e padrões nacionais de qualidade do ar (tabela 2).

Segundo Torres e Martins (2006), os objetivos do monitoramento da qualidade do ar são, principalmente, fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica, quando os níveis de poluentes na atmosfera podem representar risco imediato à saúde pública.

Tabela 1 – Critérios para classificação de episódios agudos de poluição do ar

<b>Poluente (concentração)</b>	<b>ATENÇÃO</b>	<b>ALERTA</b>	<b>EMERGÊNCIA</b>
<b>Partículas inaláveis (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) - 24h</b>	250	420	500

Fonte: Resolução CONAMA n.º 3 de 28/06/90

Tabela 2 - Parâmetros e padrões da qualidade do ar vigentes no Brasil

<b>POLUENTE</b>	<b>TEMPO DE AMOSTRAGEM</b>	<b>PADRÃO PRIMÁRIO µg/m<sup>3</sup></b>	<b>PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m<sup>3</sup></b>	<b>MÉTODO DE MEDIÇÃO</b>
<b>Partículas totais em suspensão</b>	24 horas <sup>1</sup>	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA <sup>2</sup>	80	60	
<b>Partículas inaláveis</b>	24 horas <sup>1</sup>	150	150	Separação inercial/filtração
	MAA <sup>3</sup>	50	50	
<b>Fumaça</b>	24 horas <sup>1</sup>	150	100	Refletância
	MAA <sup>3</sup>	60	40	
<b>Dióxido de enxofre</b>	24 horas <sup>1</sup>	365	100	Pararosalinina
	MAA <sup>3</sup>	80	40	
<b>Dióxido de nitrogênio</b>	1 hora	320	190	Quimiluminescência
	MAA <sup>3</sup>	100	100	
<b>Monóxido de carbono</b>	1 hora <sup>1</sup>	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas <sup>1</sup>	10.000	10.000	
<b>Ozônio</b>	1 hora <sup>1</sup>	9 ppm	9 ppm	Quimiluminescência
		160	160	

<sup>1</sup>Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

<sup>2</sup>Média geométrica anual.

<sup>3</sup>Média aritmética anual

Fonte: Resolução CONAMA nº. 3, de 28/06/90

## 2.2 OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE

Considera-se poluente atmosférico qualquer substância presente no ar cuja concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (TORRES e MARTINS, 2006).

Os aerossóis atmosféricos, principalmente de origem antropogênica, causam irritação nos olhos e garganta, reduzindo a resistência às infecções e ainda provocando doenças crônicas como as pneumoconioses. As partículas causam ainda danos à estrutura e à fachada de edifícios, à vegetação e são também responsáveis pela redução da visibilidade (BRANCO, 1995).

As partículas inaláveis finas (com diâmetro aerodinâmico médio menor que 2,5  $\mu\text{m}$ ) têm comportamento físico-químico diferenciado das partículas inaláveis grossas (com diâmetro aerodinâmico médio menor que 10  $\mu\text{m}$  e maior que 2,5  $\mu\text{m}$ ), penetrando mais profundamente no trato respiratório o que resulta em riscos e impactos diferenciados na saúde pública (PHILIPPI JR. 2005).

Segundo West (2004) os efeitos para a saúde conforme o poluente atmosférico são os seguintes:

- Monóxido de carbono (CO): tem propensão a fixar-se à hemoglobina das hemácias de forma estável, tem 200 vezes mais afinidade do que o oxigênio por essa ligação, de forma que pode causar hipóxia tecidual levando a sintomas neurológicos ou até à morte se inalado em grande quantidade.
- Óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub>): são gases corrosivos que causam inflamação das membranas mucosas dos olhos, trato respiratório superior e mucosa brônquica. A exposição em curto

prazo a altas concentrações causa edema pulmonar enquanto a exposição em longo prazo a baixas concentrações resulta em bronquite crônica em animais de laboratório.

- Óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ): causam inflamação dos olhos e trato respiratório. Durante condições de “*smog*” (de smoke=fumaça + fog=neblina) o efeito se agrava provocando concentrações mais elevadas que podem causar traqueíte aguda, bronquite aguda e edema pulmonar. A nebulosidade amarelada do “*smog*” é devida a estes gases.
- Oxidantes fotoquímicos: não constituem emissões primárias, mas são produzidos pela ação da luz solar sobre hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio. Causam inflamação dos olhos e trato respiratório, dano à vegetação, e odores ofensivos. Estes incluem o ozônio e outras substâncias como nitratos de peroxiacilas, aldeídos e acroleína. Em concentrações altas o ozônio causa edema de pulmão. Estes oxidantes contribuem para a nebulosidade espessa do “*smog*”.
- Material particulado: os efeitos deletérios dessa categoria de poluente varia muito conforme o diâmetro das partículas devido aos processos de deposição no trato respiratório. Partículas maiores sofrem um processo chamado de impacção, pelo qual não conseguem acompanhar as sinuosidades do trato respiratório, colidindo com as superfícies mucosas do nariz e faringe. Por esse processo até 95% das partículas maiores que 5  $\mu\text{m}$  de diâmetro são filtradas pelo nariz durante a respiração em repouso. Partículas intermediárias (entre 1 e 5  $\mu\text{m}$ ), sofrem um processo de deposição gradual chamado sedimentação, que ocorre nas vias aéreas inferiores, incluindo os bronquíolos terminais e respiratórios. É nesse nível que se dá à lesão da bronquite crônica. Finalmente as partículas menores que 1  $\mu\text{m}$  sofrem um processo de deposição por difusão que é o movimento aleatório das partículas como resultado do seu bombardeamento pelas moléculas de gás, fazendo a deposição ocorrer principalmente nas pequenas vias aéreas e alvéolos (figura 1). Aqui as partículas são fagocitadas por células de defesa que tentam

eliminá-las. Quando a carga de poluentes é muito alta esse processo leva à fibrose do pulmão.

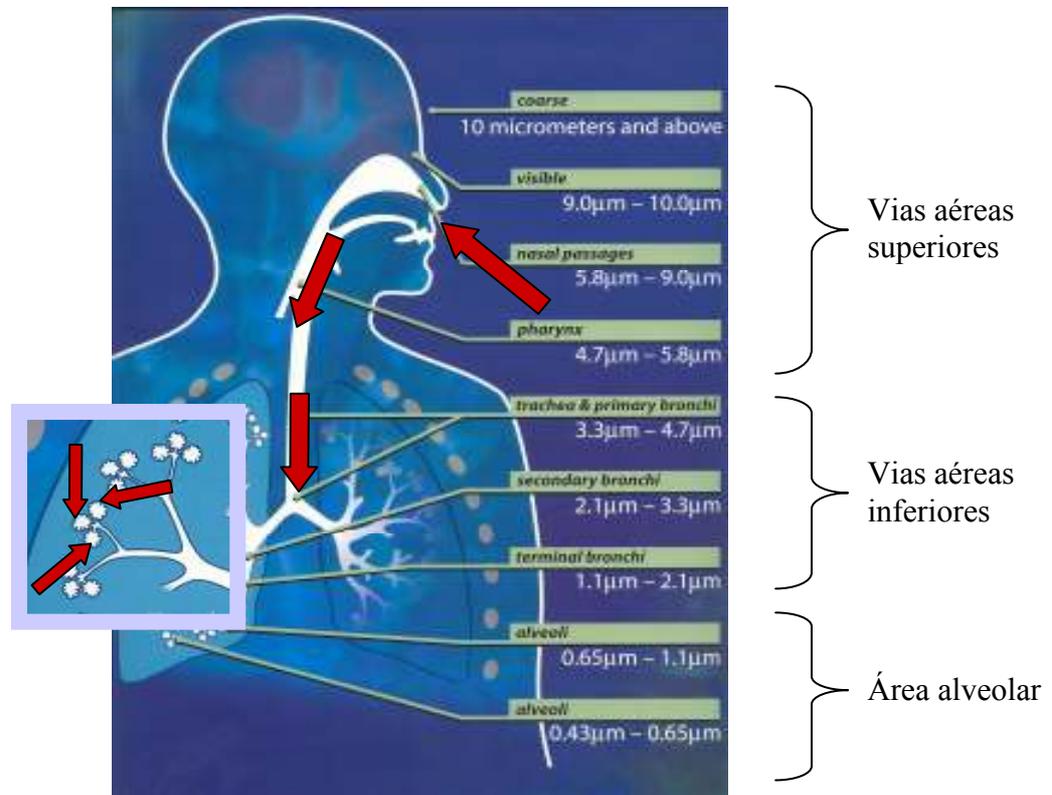


Figura 1 - Potencial de deposição de material particulado no trato respiratório conforme tamanho de partícula inalada.

Fonte: Google image

Portanto, a vinculação de poluição atmosférica com risco à saúde humana está bem evidente, justificando a monitoração dessa poluição em seus vários aspectos. A presente pesquisa enfoca a relevância do material particulado suspenso no ar e seu potencial de alcançar as estruturas pulmonares e assim oferecer efetivo risco à saúde humana de uma população exposta.

### 2.2.1 Material particulado e doença cardiovascular

Peters (1995) demonstrou que o aumento de material particulado em suspensão na atmosfera, está associado ao maior risco de agravamento nas doenças cardiovasculares. Este

risco é maior devido ao aumento da viscosidade sanguínea que ocorre por indução dos mecanismos inflamatórios endógenos. Esse fato pode ser demonstrado através de exames para marcadores plasmáticos de inflamação como a proteína C reativa (PCR).

## 2.2.2 Material particulado e doenças respiratórias

As doenças respiratórias representam a maior causa de internações no sistema de saúde brasileiro com 794 mil internações por ano segundo informações do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS, 2003).

### 2.2.2.1 Doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC)

A doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é uma doença que causa limitação do fluxo aéreo por obstrução decorrente de uma resposta inflamatória anormal do pulmão a inalação de partículas ou gases nocivos. A tosse produtiva de catarro e a dispnéia são os principais sintomas dessa doença que é progressiva e incapacitante. A DPOC constitui-se um dos grandes problemas de saúde pública no mundo sendo a quarta causa de morbidade e mortalidade sendo que muitos casos poderiam ser prevenidos com a redução da exposição aos fatores geradores dessa doença, como a poluição (GOMES apud LOPES, 2006).

### 2.2.2.2 Pneumoconioses

A doença pulmonar parenquimatosa de origem ocupacional tem sido descrita ao longo dos séculos. Antes da era industrial, a mineração e os trabalhos artesanais eram responsáveis por tal doença. Ramazini, considerado o pai da medicina do trabalho, em 1700, já descrevia as

doenças dos mineradores como a tísica dos mineiros, demonstrando o adoecimento antes da era industrial. Com a industrialização e a aceleração de processos geradores de poeiras houve um incremento dessas doenças nos últimos 100 anos (CASTRO, 2003).

O termo pneumoconiose foi criado por Zenker, em 1867, (konion = poeira em grego) para designar um grupo de doenças que se originam de exposição a poeiras minerais. Com o passar do tempo o termo foi sendo ajustado a denominações próprias a partir do nome da poeira agressora, como silicose, por exemplo, para poeira com alta concentração de sílica (TARANTINO, 1997). As pneumoconioses são definidas pela Organização Internacional do Trabalho (OIT, 1990) como “doenças pulmonares causadas por acúmulo de poeira nos pulmões e a reação tissular à presença dessa poeira”. São doenças de longo período de latência. Frequentemente são identificadas somente depois de cessada a exposição causadora (ALGRANTI e CAPITANI apud LOPES, 2006).

Castro e al. (2003) realizaram um trabalho de mapeamento da distribuição de mortalidade das pneumoconioses nos Estados brasileiros através de um estudo ecológico que utilizou como denominador a população ativa acima de 15 anos. Utilizou-se a informação de mortalidade do Sistema de Informações de Mortalidade (SIM) do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Verificou-se uma tendência crescente do coeficiente de mortalidade por pneumoconioses/milhão de habitantes/ano ao longo do período estudado. Entretanto, concluíram esses autores (CASTRO et al., 2003), que os valores dos coeficientes de mortalidade por pneumoconioses não refletem adequadamente o problema, ofuscando a magnitude da doença, devido a pouca precisão nos atestados de óbitos em muitos casos, tornando-se necessário o conhecimento da população efetivamente exposta e a localização territorial para a obtenção de indicadores mais representativos.

## Silicose

A silicose é uma doença pulmonar causada pela inalação de poeiras com sílica-livre, partículas de dióxido de silício cristalino ( $\text{SiO}_2$ ), que é um elemento amplamente encontrado nas rochas que constituem a crosta terrestre. Quando a sílica-livre penetra no alvéolo pulmonar determina uma intensa reação tecidual de caráter fibrogênica que compromete a capacidade pulmonar de modo irreversível (WEST, 2004).

As atividades industriais que envolvem corte ou polimento de rochas constituem fontes potenciais de sílica respirável. Outras atividades podem também ser incluídas, como a mineração, a abertura de túneis, o trabalho em pedreiras. Os usos industriais da areia podem ocasionar exposição a elevadas concentrações de sílica respirável, principalmente o uso da areia com finalidades abrasivas para limpeza de equipamentos pesados e navios através do jateamento de areia. Além disso, a areia é amplamente utilizada em trabalhos de fundição, fabricação de vidros, na indústria cerâmica e na indústria da construção civil, tornando essas atividades potencialmente perigosas para os trabalhadores (TARANTINO, 1997).

Embora conhecida desde a Antigüidade, no Brasil, a silicose caracteriza-se como a principal pneumoconiose e as estatísticas fiéis são escassas, assim como as estimativas da população de risco. Contudo, a ocorrência de poeiras com sílica certamente atinge alguns milhões de trabalhadores nas mais variadas atividades produtivas. O quadro é ainda mais grave quando consideramos que a silicose está intimamente relacionada com a tuberculose, além de outras doenças como artrite reumatóide e até mesmo, neoplasia pulmonar (MENDES, 1988, 1997).

A principal medida para a redução da prevalência da silicose repousa na prevenção dos riscos que podem ser reduzidos, ou até mesmo eliminados, por medidas de controle no ambiente e no homem. Os processos industriais que geram sílica livre respirável devem ser

compartimentalizados ou modificados; qualquer poeira que contenha sílica jamais deve ser varrida seca, e os trabalhadores devem sempre utilizar equipamento de proteção respiratória individual, a fim de evitar exposições, mesmo por curtos períodos de tempo. Para o jateamento de areia já existem alternativas disponíveis como granalha de aço e cinza de carvão, por exemplo, que oferecem menor risco aos trabalhadores (Wyngaarden, 1993).

### Pneumoconiose dos Trabalhadores de Carvão (PTC)

A PTC foi descrita primeiramente na Inglaterra por Thompson em 1836. No final do século XIX e início do XX, o número de casos cresceu com a eclosão da Primeira e Segunda Guerras Mundiais que demandaram maior produção de carvão. Tornou-se um problema epidêmico, principalmente no país de Gales e Inglaterra, razão pela qual em 1945 criou-se uma unidade de pesquisa para as pneumoconioses (TARANTINO, 1997).

A lesão característica da PTC é a mácula de carvão, que é uma coleção de macrófagos (células de defesa) que acabam repletas de poeira do carvão na tentativa de eliminá-las e se depositam ao lado dos bronquíolos respiratórios. A fibrose resultante é mais discreta do que a causada pela sílica, pela baixa toxicidade do elemento carbono, mas com a continuidade da exposição acaba igualmente comprometendo a função pulmonar. Certas atividades no subsolo expõem o mineiro a quantidades elevada de sílica, além da poeira do carvão, sendo possível encontrarem-se nódulos silicóticos típicos na histologia, o que acelera a deterioração funcional do pulmão. É também freqüente encontrar nódulos característicos de pneumoconiose por poeiras mistas nestes trabalhadores (ALGRANTI e CAPITANI apud LOPES, 2006).

No Brasil, as PTC ocorrem com maior freqüência nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul onde estão concentradas as maiores bacias carboníferas do país. Somente em Santa Catarina existem mais de 3000 casos de PTC registrados. A prevalência que era de 5 a 8%,

com a mineração manual ou semimecanizada, passou para 10% com a mecanização das minas. A partir de 1985, com adoção de medidas de prevenção como uso de água nas frentes de serviços e melhor sistema de ventilação, a prevalência caiu para 5 a 6% (MENDES, 1997) o que ainda é muito elevado se considerarmos a irreversibilidade da doença.

### Pneumoconiose por poeiras mistas (PPM)

Define-se PPM como as pneumoconioses causadas pela inalação de poeiras minerais com porcentagem de sílica livre inferior a 10%, associada a outros materiais particulados como silicatos e metais (ABRAHAMS, 2002). Apresentam-se como pneumoconioses de padrões radiológicos, sobrepostos de opacidades regulares e irregulares. Caracterizam-se histologicamente por nódulos estrelados e áreas de fibrose intersticial, como eventual acometimento pleural, podendo também evoluir para aglomerações fibróticas. São exemplos de PPM a antracosilicose em mineiros de carvão expostos a altos teores de  $\text{SiO}_2$ , a silicossiderose em fundidores de ferro, a doença de Shaver, nos trabalhadores de fabricação de abrasivos de alumínio, a pneumoconiose pelo caulim e a talcose (ALGRANTI e CAPITANI apud LOPES, 2006).

Além das pneumoconioses, cujo nexo causal com a exposição a poeiras de origem ocupacional está definitivamente estabelecido, outras doenças respiratórias crônicas não específicas — notadamente a bronquite crônica, o enfisema pulmonar e asma brônquica — também têm sido relacionadas com a exposição ao material particulado em suspensão no ar. Sua incidência e prevalência em determinadas ocupações são inequivocamente superiores àquelas na população geral de adultos, ou em outras ocupações. A evidência é fundamentalmente epidemiológica, e está baseada em estudos que comparam a prevalência de

sintomas ou achados funcionais e radiológicos em grupos expostos com grupos não expostos, tomados como grupo controle (MENDES, 1988).

Numa visão de saúde pública a DPOC e particularmente as pneumoconioses são exemplos gritantes de falhas na prevenção de exposições quase sempre controláveis. Acarretam pesado ônus econômico e social ao indivíduo afetado e ao país, uma vez que boa parte dos casos deve receber benefícios previdenciários, além da necessidade de assistência médica especializada (ALGRANTI e CAPITANI apud LOPES, 2006).

### 2.2.3 Internações e mortes por doenças pulmonares

Os estudos a respeito do tema envolvendo a doença pulmonar como consequência de atividade laboral e o agravamento da mesma por infecção tuberculosa já datam de muitas décadas no Brasil e são principalmente da região sudeste (GUSMÃO et al., 1956; MINERVINO et al., 1964). Em um estudo mais recente (CASTRO et al., 2005) informações de morbidade foram descritas e analisadas a partir do Sistema de Internação do Centro Nacional de Epidemiologia do Ministério da Saúde, disponível no banco de dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS), no período de 1984 a 2003, de todos os Estados do Brasil. Os resultados revelaram que o Brasil apresentou, entre 1984 e 1991, taxas elevadas de internações por doenças pulmonares em todas as regiões, com tendência de crescimento e uma posterior redução após esta data. A mediana das internações para o período entre 1984 e 1991 foi maior na região Centro-Oeste e menor na região Norte. No segundo período, entre 1992 e 2003, verificou-se uma modificação com uma menor mediana na região Nordeste e maior na região Sul, o que pode ser devido a um melhor registro dos dados na região Sul, do que propriamente redução de casos na região Nordeste.

Especificamente na região Sul do país, os dados de morbidade hospitalar fornecidos pelo sistema DATASUS, o qual utiliza a Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, Décima Revisão (CID-10), produzido pela Organização Mundial da Saúde que é uma sistematização das doenças conhecidas para permitir o reconhecimento das doenças em todos os países do mundo de forma a permitir estudos epidemiológicos gerais e para a avaliação da assistência a saúde (CID-10, 2000). Essas informações nos permitem comparar municípios quanto a indicadores de morbidade e mortalidade. Sendo assim podemos comparar os dados (tabelas 3 e 4) dos dois municípios da região metropolitana de Curitiba com população na casa dos duzentos mil habitantes, Colombo, onde foi realizada a presente pesquisa, e São José dos Pinhais. Além do número de habitantes, ambos possuem outras características em comum como índice de desenvolvimento humano municipal (IDH-M) que são 0,764 e 0,796 respectivamente (IBGE, 2000).

Pela comparação dos dados através de um gráfico (figura 2) observamos que a proporção de internações por doenças respiratórias é maior em Colombo do que em São José dos Pinhais, sendo a maior diferença entre os menores de um ano, 46,2 % dos internamentos contra 23,4% respectivamente.

Em outro indicador importante de saúde pública que é a mortalidade geral, também podemos observar que Colombo apresenta maiores índices de mortalidade por causas respiratórias do que São José dos Pinhais (tabelas 5 e 6). Nesse caso a população infantil também é significativamente mais afetada em Colombo, onde 20% das mortes entre 1 e 4 anos são por doenças respiratórias, contra nenhum caso em São José dos Pinhais (figura 3).

Tabela 3 - Morbidade Hospitalar - Município:Colombo/PR  
Distribuição Percentual das Internações por Grupo de Causas e Faixa Etária - CID10  
(por local de residência)

Grupo de Causas	Menor 1	1 a 4	5 a 9	10 a 14	15 a 19	20 a 49	50 a 64	+65	Total
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	12.3	20.1	10.6	11.4	8.4	9.4	5.7	4.5	9.3
II. Neoplasias (tumores)	1.1	2.8	10.2	12.0	3.9	7.0	11.4	9.3	7.2
III. Doenças sangue órgãos hemáticos e Transtornos imunitários	0.3	0.3	0.7	0.4	0.5	0.3	0.5	0.9	0.4
IV. Doenças endócrinas nutricionais e metabólicas	0.3	0.2	1.4	0.7	0.1	1.1	3.2	3.9	1.5
V. Transtornos mentais e comportamentais	-	-	-	1.1	4.5	8.3	5.0	1.1	5.0
VI. Doenças do sistema nervoso	1.6	3.4	4.7	2.7	0.9	1.3	2.0	1.6	1.7
VII. Doenças do olho e anexos	0.2	0.1	0.7	0.7	0.2	0.4	0.8	0.7	0.4
VIII. Doenças do ouvido e da apófise mastóide	0.1	0.7	1.0	1.6	0.2	0.1	-	-	0.2
IX. Doenças do aparelho circulatório	0.7	0.4	0.5	0.7	0.9	6.8	28.1	35.0	11.1
<b>X. Doenças do aparelho respiratório</b>	<b>46.2</b>	<b>41.7</b>	<b>23.9</b>	<b>9.6</b>	<b>1.9</b>	<b>3.9</b>	<b>10.3</b>	<b>19.9</b>	<b>12.9</b>
XI. Doenças do aparelho digestivo	7.4	7.1	8.1	12.0	4.0	7.7	11.6	9.1	8.1
XII. Doenças da pele e do tecido subcutâneo	1.2	3.8	1.0	7.3	1.0	1.4	3.2	1.4	1.9
XIII. Doenças sistema osteomuscular e tecido conjuntivo	0.3	1.7	2.6	5.1	2.2	2.9	3.3	2.3	2.6
XIV. Doenças do aparelho geniturinário	0.8	5.6	9.2	4.9	4.3	5.6	5.6	4.5	5.2
XV. Gravidez parto e puerpério	-	-	-	5.6	55.8	30.1	0.1	-	18.8
XVI. Algumas afecções originadas no período perinatal	21.8	-	-	-	0.1	-	-	-	1.4
XVII. Malformação congênita deformidades e anomalias cromossômicas	3.6	3.7	5.0	2.4	0.8	0.3	0.3	0.1	1.0
XVIII. Sintomas sinais e achados anormais ao exame clínico e laboratorial	0.9	0.9	1.4	1.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6
XIX. Lesões envenenamento causas externas	0.7	6.6	16.5	17.6	8.2	8.5	6.7	4.7	7.7
XX. Causas externas de morbidade e mortalidade	-	-	-	-	-	-	-	-	-
XXI. Contatos com serviços de saúde	0.3	1.0	2.4	2.9	1.3	4.6	1.4	0.7	2.8
CID 10ª Revisão não disponível ou não preenchido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: DATASUS-SIH/SUS-2005

Tabela 4-Morbidade Hospitalar - Município:São José dos Pinhais / PR.  
Distribuição Percentual das Internações por Grupo de Causas e Faixa Etária - CID10  
(por local de residência)

<b>Grupo de Causas</b>	<b>Menor 1</b>	<b>1 a 4</b>	<b>5 a 9</b>	<b>10 a 14</b>	<b>15 a 19</b>	<b>20 a 49</b>	<b>50 a 64</b>	<b>+65</b>	<b>Total</b>
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	11.3	16.0	7.4	5.5	2.4	2.8	3.6	4.0	4.6
II. Neoplasias (tumores)	1.3	7.3	10.1	11.9	2.6	5.3	11.4	8.6	6.7
III. Doenças sangue órgãos hemáticos e Transtornos imunitários	0.3	0.7	0.7	0.8	0.1	0.5	0.4	1.5	0.6
IV. Doenças endócrinas nutricionais e metabólicas	0.9	1.1	0.1	1.5	0.2	0.9	2.4	3.6	1.4
V. Transtornos mentais e comportamentais	-	0.1	0.1	3.6	4.8	8.3	4.8	0.2	5.1
VI. Doenças do sistema nervoso	1.2	4.3	2.7	2.9	1.2	1.4	2.1	1.6	1.8
VII. Doenças do olho e anexos	0.1	0.2	0.3	0.6	0.2	0.3	0.7	1.1	0.4
VIII. Doenças do ouvido e da apófise mastóide	0.1	1.6	1.6	1.5	0.2	0.1	-	-	0.3
IX. Doenças do aparelho circulatório	0.1	0.7	1.0	0.8	1.3	5.5	24.2	27.8	9.6
<b>X. Doenças do aparelho respiratório</b>	<b>23.4</b>	<b>28.9</b>	<b>31.0</b>	<b>13.8</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>7.3</b>	<b>15.8</b>	<b>9.6</b>
XI. Doenças do aparelho digestivo	3.9	9.0	10.4	10.5	3.7	9.2	16.5	13.4	10.1
XII. Doenças da pele e do tecido subcutâneo	0.5	2.5	1.3	3.1	1.1	1.7	2.0	2.2	1.8
XIII. Doenças sistema osteomuscular e tecido conjuntivo	0.3	1.0	2.2	5.2	2.4	3.6	5.4	3.4	3.4
XIV. Doenças do aparelho geniturinário	1.5	6.9	7.4	8.8	4.0	7.1	6.8	7.6	6.6
XV. Gravidez parto e puerpério	-	-	-	4.8	59.3	34.4	-	-	21.0
XVI. Algumas afecções originadas no período perinatal	45.7	-	-	-	-	-	-	-	2.5
XVII. Malformação congênita deformidades e anomalias cromossômicas	5.7	6.1	6.4	3.6	0.5	0.3	0.2	0.2	1.3
XVIII. Sintomas sinais e achados anormais de exame clínico e laboratorial	1.8	1.7	1.2	1.0	0.9	1.0	1.3	1.4	1.2
XIX. Lesões envenenamento e causas externas	1.2	10.5	14.6	19.1	11.2	11.0	9.6	6.9	10.2
XX. Causas externas de morbidade e mortalidade	-	-	-	-	0.1	-	-	0.1	-
XXI. Contatos com serviços de saúde	0.8	1.3	1.4	0.8	0.7	3.3	1.1	0.6	2.0
CID 10ª Revisão não disponível ou não preenchido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: DATASUS-SIH/SUS-2005

Tabela 5 – Mortalidade no município de Colombo/PR. Mortalidade Proporcional (%) por Faixa Etária Segundo Grupo de Causas - CID10

Grupo de Causas	Menor 1	1 a 4	5 a 9	10 a 14	15 a 19	20 a 49	50 a 64	+65	Total
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	-	20.0	-	-	-	5.1	2.3	2.2	2.9
II. Neoplasias (tumores)	-	10.0	16.7	-	6.4	9.8	19.4	14.8	13.1
IX. Doenças do aparelho circulatório	-	10.0	-	-	2.1	13.8	42.4	43.5	30.3
<b>X. Doenças do aparelho respiratório</b>	<b>14.5</b>	<b>20.0</b>	<b>-</b>	<b>14.3</b>	<b>-</b>	<b>8.0</b>	<b>7.8</b>	<b>19.1</b>	<b>12.5</b>
XVI. Algumas afecções originadas no período perinatal	61.8	-	-	-	-	-	-	-	3.3
XX. Causas externas de morbidade e mortalidade	5.5	-	66.7	71.4	89.4	43.5	7.4	3.3	19.7
Demais causas definidas	18.2	40.0	16.7	14.3	2.1	19.9	20.7	17.0	18.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: DATASUS/SIM - 2004

Tabela 6 - Mortalidade no município de São José dos Pinhais/PR Mortalidade Proporcional (%) por Faixa Etária Segundo Grupo de Causas - CID10

Grupo de Causas	Menor 1	1 a 4	5 a 9	10 a 14	15 a 19	20 a 49	50 a 64	+65	Total
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	1.7	16.7	-	-	-	6.4	4.8	2.6	4.1
II. Neoplasias (tumores)	-	8.3	20.0	12.5	4.7	15.4	21.8	17.1	16.1
IX. Doenças do aparelho circulatório	-	-	-	-	-	12.9	35.9	46.5	29.2
<b>X. Doenças do aparelho respiratório</b>	<b>6.8</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2.3</b>	<b>3.2</b>	<b>10.5</b>	<b>15.6</b>	<b>9.6</b>
XVI. Algumas afecções originadas no período perinatal	62.7	-	-	-	-	-	-	-	3.6
XX. Causas externas de morbidade e mortalidade	3.4	41.7	40.0	62.5	86.0	46.1	8.5	2.9	20.5
Demais causas definidas	25.4	33.3	40.0	25.0	7.0	16.1	18.5	15.3	16.9
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: DATASUS/SIM – 2004

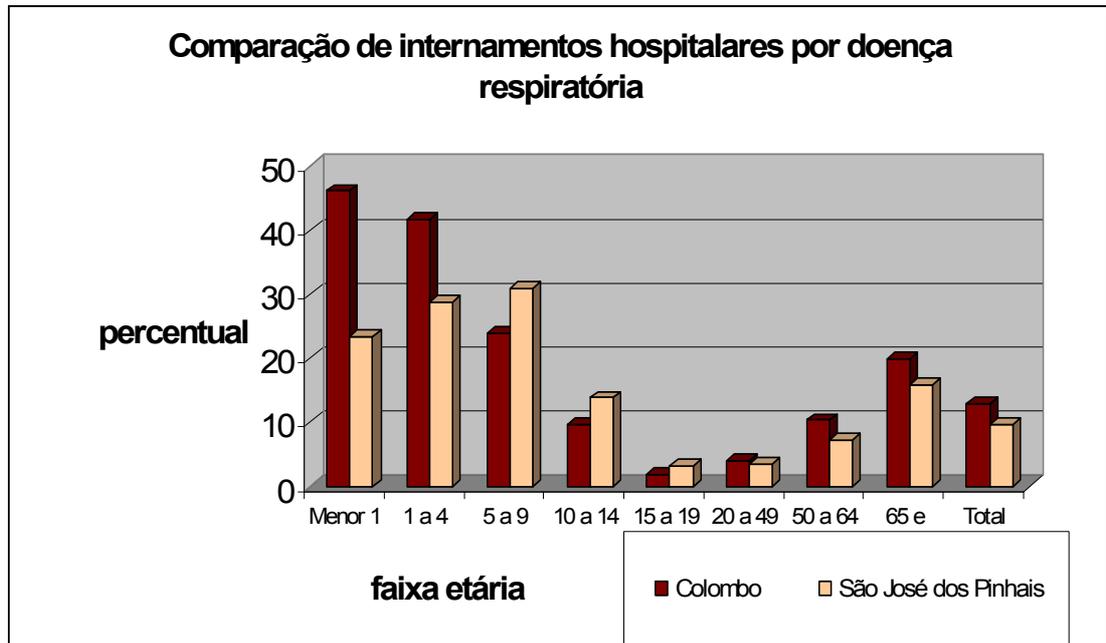


Figura 2 – Comparação de internamentos hospitalares por doença respiratória conforme faixa etária entre os municípios de Colombo e São José dos Pinhais.  
Fonte: DATASUS - 2005

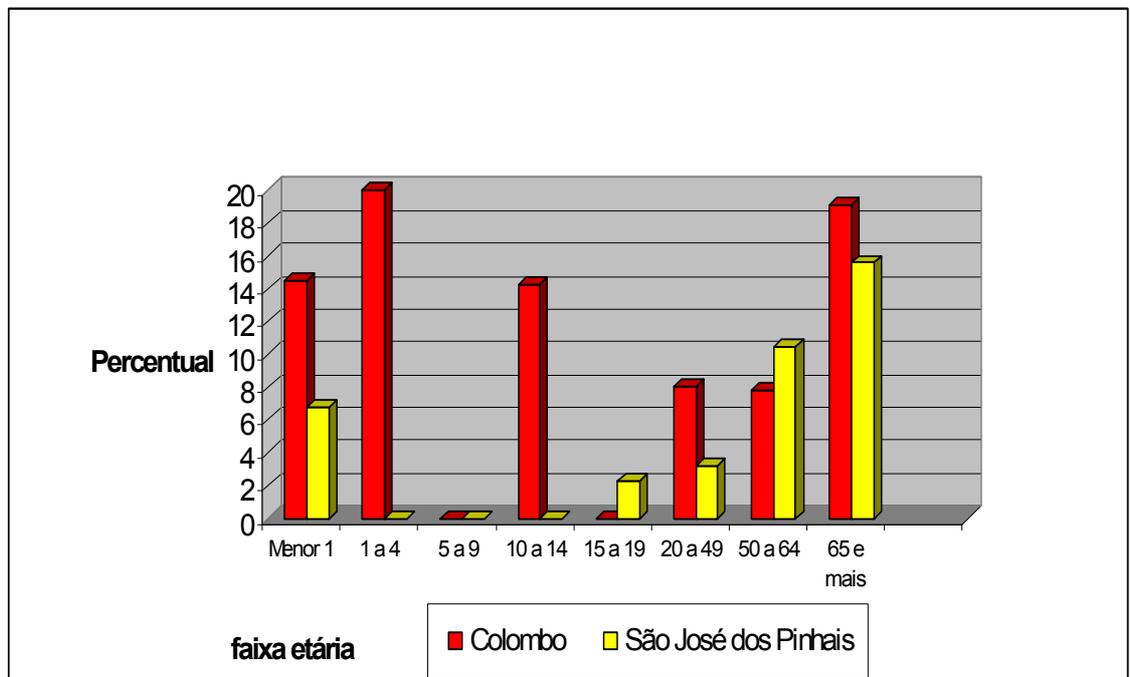


Figura 3 – Comparação da mortalidade proporcional por faixa etária devido a doenças do aparelho respiratório entre os municípios de Colombo e São José dos Pinhais.  
Fonte: DATASUS – 2005

A preocupação com o risco à saúde da população em função da qualidade do ar, levou o Instituto Ambiental do Paraná – IAP, órgão governamental responsável pelas questões ambientais no Estado, a monitorar o ar em Colombo, devido ao período de estiagem do inverno e que emitiu o seguinte relatório em junho de 2006, através do secretário do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Rasca Rodrigues:

“O IAP está reforçando o monitoramento da qualidade do ar neste período de estiagem, quando geralmente as partículas poluentes se dissolvem com menor facilidade. Em Curitiba e Araucária não verificamos aumento de poluição atmosférica, já no município de Colombo estamos constando dias inadequados na qualidade do ar”, (IAP, 2006).

O secretário ainda salientou que as causas dessa situação, além da estiagem, são as queimadas, a falta de pavimentação nas ruas e o grande número de indústrias de cal e calcário presentes em Colombo.

Nas proximidades das indústrias de cal é possível perceber, inclusive à vista desarmada, a deposição desse material particulado sobre a vegetação local, dando um aspecto de “neve” para a paisagem (figura 4).

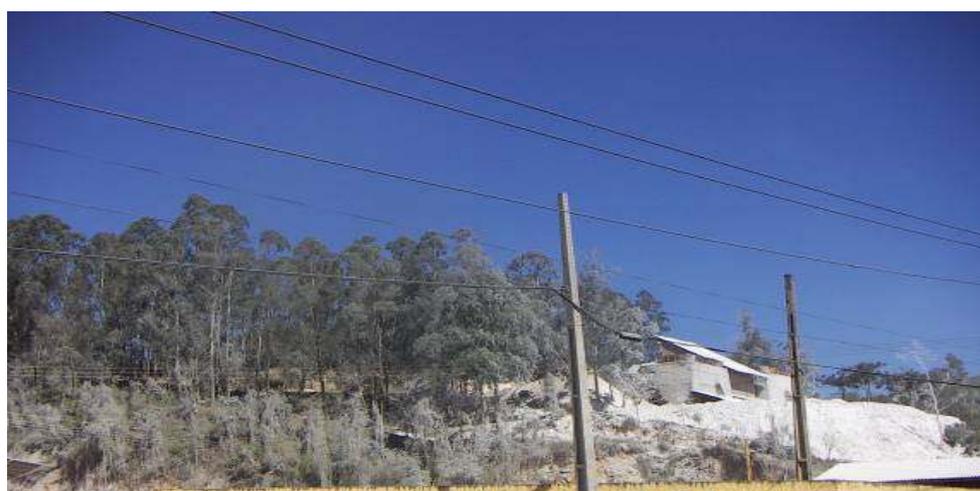


Figura 4 - Aspecto de “neve” sobre a vegetação de Colombo – Dez/2005  
Fonte: o autor

Por todos os aspectos já mencionados, podemos justificar a relevância do presente estudo que aborda a questão da poluição atmosférica pela caracterização do material particulado em suspensão no ar do município de Colombo, bem como pretende testar a hipótese denexo de causalidade entre a presença desse material particulado e agravos à saúde da população local.

## 2.3 A INDÚSTRIA DE CAL

### 2.3.1 O Processo de Produção

A produção da cal é um processo industrial relativamente simples, que envolve a queima de calcários e/ou mármore de composição cálcica, magnésiana ou dolomítica, para formar cal de composição correspondente. Segundo Boynton (1980) calcário é o nome genérico para designar uma variedade de rochas sedimentares. Pode ser composto dos seguintes minerais mais impurezas:

1. calcita ( $\text{CaCO}_3$ ),
2. aragonita (também  $\text{CaCO}_3$  mas com uma diferença estrutural no cristal)
3. dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )
4. magnesita ( $\text{MgCO}_3$ )

Geralmente a pedra de calcário calcítico puro não ocorre espontaneamente na natureza, sendo a pureza maior encontrada de 97 a 99 %. O calcário dolomítico contém de 40 a 43% de magnésio e 1 a 3% de impurezas (BOYNTON, 1980).

Segundo Crump (2000) o processo produtivo como um todo é composto basicamente de quatro etapas:

1. extração da matéria-prima; 2. preparação; 3. calcinação e 4. hidratação.

#### 2.3.1.1 Extração e Preparação da Matéria-prima

A extração da matéria-prima é realizada a partir de uma jazida de calcário ou mármore, devidamente avaliada, com teores de cálcio e magnésio definidos. Normalmente a lavra é feita a céu-aberto, com formação de bancadas de forma descendente.

A preparação da matéria-prima envolve a redução do tamanho dos blocos, através de britagem, para um diâmetro médio de aproximadamente 4 polegadas. Estes blocos são transportados para a planta de beneficiamento e colocados nos fornos para iniciar o processo de calcinação.

### 2.3.1.2 Calcinação e Hidratação

A calcinação ocorre em fornos, que podem ser de diversos padrões, desde fornos rudimentares de pequena produção até fornos de alta tecnologia com produção em grande escala. Em Colombo os fornos das indústrias são do tipo vertical como ilustrado na figura 6. Fornos verticais requerem pedras maiores, de 10 a 15 cm de diâmetro, para permitir a circulação do calor.



Figura 5. Desenho Esquemático de Forno de Cal Vertical

Fonte: adaptado de Gutschick, K.A. Lime and Limestone. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 4th Ed. Vol. 15. New York, John Wiley & Sons. 1994. p. 319-359.

As fontes energéticas para os fornos podem ser de diversos tipos: lenha, gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), casca de castanha, pneus usados, etc. Em Colombo o que se observa é o uso de serragem (resíduos de madeira das serrarias). O combustível é injetado no cilindro do forno logo abaixo da zona de calcinação por meio de uma tubulação onde a serragem é bombeada por motor elétrico, para manter a temperatura acima de 700°C, levando à calcinação da pedra de calcário (figura 7). Gases quentes da zona de calcinação sobem por convecção, aquecendo a pedra na zona de pré-aquecimento. Finalizado o processo de calcinação um operário abre a comporta inferior e a pedra da zona de resfriamento cai para fora do forno, deslocando assim as pedras em todos os estágios acima.



Foto 6 – Entrada do combustível serragem no forno de cal

Em Colombo usam-se fornos verticais que necessitam de um operador que avalia visualmente quando o processo de calcinação está concluído e abre uma comporta com uma longa haste de ferro (Figura 8).



Figura 7 – Comportas da base do forno de cal operadas manualmente  
Fonte: o autor

A calcinação é uma reação química simples, mas requer conhecimento e habilidade para alcançar o padrão de qualidade adequado, ou seja, a calcinação completa. A reação (I) exemplifica a decomposição térmica dos calcários/mármore, resultando na formação da cal e na liberação de dióxido de carbono:

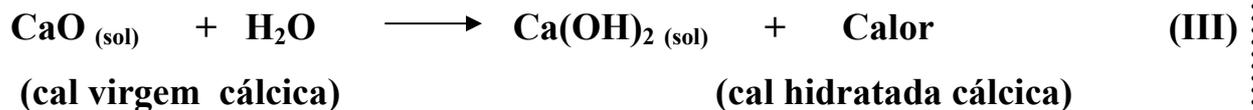


Em Colombo o calcário predominante é magnesiano, e o processo de calcinação está representado pela reação (II):



A calcinação do calcário/mármore cálcico ocorre a partir de 898°C, portanto, o forno precisa estabilizar a queima num patamar um pouco superior a esta temperatura. Já a calcinação do calcário/mármore dolomítico, começa a ocorrer entre 500 e 700°C, dependendo da composição da rocha. Os tipos mais ricos em MgO iniciam a calcinação em temperaturas mais baixas. Os fornos para queima deste tipo de rocha devem atingir uma temperatura pouco superior a 700°C para concluir o processo de calcinação.

O processo pode se encerrar com a produção da cal virgem, ou prosseguir para a produção da cal hidratada, através de uma reação de hidratação com a adição de água, conforme reações III e IV:



A cal hidratada se torna um pó branco que é ensacado ou transportado a granel para as destinações específicas na agricultura, indústria química, construção civil, entre outras. Para a maioria das aplicações, cal virgem e cal hidratada, calcítica ou dolomítica, podem ser usados como equivalentes entre si. Há, entretanto, exceções, como na indústria do cimento que utiliza a forma calcítica. Essa característica explica, por exemplo, porque não há indústria de cimento na cidade de Colombo, enquanto há na cidade vizinha de Rio Branco do Sul. Ocorre que as rochas de Colombo são predominantemente dolomíticas, que não são apropriadas para a produção de

cimento. Observamos essa distribuição no mapa geológico do Paraná em relação ao calcário (figura 8).



Figura 8 -Mapa geológico do Paraná em relação ao calcário

Fonte: MINEROPAR

### 2.3.2 Emissões na Produção de Cal

Segundo Crump (2000) a produção de cal é fonte geradora de emissão de material particulado (PM), metais, e gases poluentes incluindo monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). As partículas contêm principalmente os elementos Ca e Mg, constituintes da matéria prima. Outros elementos como Al, Si, Fe, S, Cl, K podem também ser associados à produção da cal.

### 2.3.2.1 Material Particulado e Metais

A fase de mineração já é geradora de emissões de material particulado na etapa de perfuração e explosão das rochas, mas é o forno a principal fonte emissora de material particulado e metais na produção de cal. Também pode ocorrer emissão na fase de resfriamento, mas apenas em plantas onde os gases não são coletados e reconduzidos de volta através do forno. Podem ocorrer emissões provenientes de hidratadores. Ainda podem ocorrer emissões em trituradores, moinhos, peneiras, pontos de transferência, pilhas de estocagem e no transporte (CRUMP, 2000).

### 2.3.2.2 Poluentes Gasosos

A produção da cal gera gases de monóxido e dióxido de carbono, dióxido de enxofre, e óxidos de nitrogênio. A maior fonte de dióxido de enxofre é proveniente da queima do material usado para aquecer o forno. A composição da alimentação do forno, a qualidade do calcário que está sendo manufaturado, e o tipo de forno, afetam a quantidade de dióxido de enxofre emitido para a atmosfera, embora a maior parte reaja com a cal dentro do forno antes de ser liberado (CRUMP, 2000).

### 2.3.3 Produção de cal em Colombo

A extração de calcário (matéria prima para a produção de cal) em Colombo, no período de 1995 a 2004 foi de mais de três milhões de toneladas (tabela 7), constituindo-se uma importante atividade econômica para o município.

Tabela 7 - Produção de cal em Colombo no período de 1995 a 2004

Substância	Unidade	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	TOTAL
Calcário Dolomítico	Mil toneladas	376	470	491	412	274	349	241	416	398	261	3.700

Fonte: MINEROPAR.

A produção em Colombo é predominantemente de calcário dolomítico com alto teor de magnésio, impróprio para produção de cimento. A relevância desse aspecto se deve, principalmente, a questão econômica envolvida. A indústria do cimento é muito mais rica do que a indústria de cal. Esse fator econômico acaba influenciando, inclusive, nas medidas de controle da poluição ambiental e proteção dos trabalhadores. No caso da indústria de cal, o custo de medidas de redução de poluição e proteção dos trabalhadores, inviabiliza pequenas mineradoras que acabam fechando, deixando um saldo de desempregados. Essa mão de obra de trabalhadores da indústria de cal não tem qualificação para atuar fora dessa atividade. A maioria aprende a trabalhar na própria fábrica, desconhecendo inclusive o risco que tal atividade oferece, como pudemos observar durante a nossa pesquisa, trabalhadores não usando nenhum tipo de equipamento de proteção individual (EPI) (Figura 9).



Figura 9 - Trabalhador da indústria de cal desprovido de EPI.  
Fonte: o autor

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa busca a caracterização do material particulado do ar próximo ao centro do município de Colombo comparando dois pontos distintos assim localizados: o primeiro próximo de uma indústria que usa um sistema de filtros para o forno de cal e o segundo próximo de uma indústria sem nenhum sistema de filtros. Além disso buscou-se correlacionar os resultados de qualidade do ar encontrados com sintomas respiratórios dos moradores próximos das indústrias de cal em comparação com moradores de uma região mais distante das indústrias. Para isso a metodologia empregada pode ser dividida em amostragem, análise das amostras e realização de entrevistas.

#### 3.1 AMOSTRAGEM

##### 3.1.1 Caracterização dos pontos

###### Ponto A

De localização 25°17'07" Sul 49°13'25" Oeste, situado próximo de uma indústria de cal que possui um sistema de filtragem por cortina de água para material particulado acoplado ao forno de cal e filtros de manga para a fase de moagem da pedra calcinada.

###### Ponto B

De localização 25°17'07" Sul 49°14'15" Oeste e que se situa próximo de uma indústria de cal que não possui sistema de filtros.

##### 3.1.2 Coleta

A coleta do material particulado do ar foi realizada durante o período de 26 de dezembro de 2005 a 6 de janeiro de 2006, compreendendo os dias de feriado do Natal de 2005 e do ano novo de 2006. Essa observação é importante por caracterizar um período de baixa produção nas indústrias de cal mas que mantém o funcionamento dos fornos e, portanto, continuam emitindo

material particulado. No ponto A, a coleta foi realizada no período 26 de dezembro de 2005 a 2 de janeiro de 2006. No ponto B, a coleta foi realizada de 30 de dezembro de 2005 a 6 de janeiro de 2006 (Figura 10).

Em ambos os pontos utilizou-se uma residência próxima das indústrias por oferecer um ponto de energia elétrica para viabilizar a utilização dos equipamentos de coleta.

### 3.1.3 Equipamentos

Foram utilizados dois tipos de equipamentos de amostragem, em função da análise pretendida. Para análise por fluorescência de raios-X foi utilizado um amostrador de acrílico composto de um conjunto de 3 porta-filtros para coleta de material particulado em frações conforme diâmetro: maior que 10  $\mu\text{m}$ , de 2,5 a 10  $\mu\text{m}$  e de 0,4 a 2,5  $\mu\text{m}$ . Este amostrador foi conectado a uma bomba de vácuo de baixo volume acoplada a um medidor de volume de ar (fluxômetro). Dois amostradores, um em cada uma das residências utilizadas, foram instalados no pátio externo, a uma altura de um metro e meio do solo, de forma a coletar apenas o material em suspensão no ar sem influência do solo (Figura 11). Essas amostragens foram realizadas por um período de 8 dias em cada um dos dois pontos, A e B, tendo iniciado quatro dias antes no ponto A (de 26 a 29 de dezembro de 2005). Quatro dias foram coletados simultaneamente no ponto A e B, de 30 de dezembro de 2005 a 2 de janeiro de 2006 e quatro dias somente no ponto B (de 3 a 6 de janeiro de 2006). Além do volume de ar amostrado no período também foram anotadas as condições climáticas dos dias de coleta. Dessas amostragens resultaram 48 amostras, sendo 16 de cada fração dos intervalos de diâmetro estabelecidos para a pesquisa.



Figura 10 – Localização dos pontos de amostragem A e B em Colombo  
Fonte:Googleearth



Figura 11 – Sistema de amostrador instalado no ponto A

Para o estudo de partículas individuais por microscopia eletrônica de varredura, o material particulado foi coletado utilizando-se um equipamento chamado “May impactor” (Figura 12). Esse amostrador consiste de uma caixa metálica de 10x10x15 cm com o qual se realiza a coleta fracionada de aerossóis em intervalos de tamanhos (0,4 – 2,0  $\mu\text{m}$  e de 2,0 – 10,0  $\mu\text{m}$ ). O material particulado fracionado foi coletado sobre uma lâmina de prata de alta pureza, 99,99 %, a um fluxo de 20 litros por minuto. Essa coleta foi realizada em 3 dias pré-determinados durante o período de 1 hora. No ponto de amostragem A foram coletados nos dias 27 e 30 de dezembro de 2005 e primeiro de janeiro de 2006. No ponto de amostragem B foram coletados nos dias 30 de dezembro de 2005, primeiro e 3 de janeiro de 2006. A estratégia de amostragem foi estabelecida de forma a caracterizar dias de produção das indústrias durante a semana e finais de semana. Dessa coleta resultaram 12 amostras para serem submetidas à análise de MEV-EDS.

Foram registradas chuvas de fraca intensidade nos dias 31 de dezembro de 2005 e 1º. de janeiro de 2006.



Figura 12 Amostrador May Impactor

### 3.2 ANÁLISE DAS AMOSTRAS OBTIDAS E PRINCÍPIOS DOS MÉTODOS

As análises das amostras foram realizadas na Universidade da Antuérpia na Bélgica, no período de 23 de janeiro a 3 de fevereiro de 2006 utilizando-se o equipamento Epsilon 5 HE-P-EDXRF (Figura 14), para fluorescência de raios-X, e o microscópio eletrônico de varredura (JEOL 733) acoplado a uma micro-sonda com um detector ultrafino (Figura 18). Os dados obtidos foram compilados no Centro Universitário Positivo – UnicenP.

#### 3.2.1 Espectrometria por fluorescência de raios-X – FRX

A espectrometria por fluorescência de raios-X (FRX) é um método de análise para determinação qualitativa e quantitativa de elementos em uma ampla variedade de amostras. Esta técnica está baseada na absorção de uma pequena faixa de comprimento de onda do espectro eletromagnético (ALMEIDA, 1999). Nessa técnica analítica, a amostra é irradiada com raios-X (um feixe de energia de um dado comprimento de onda entre 0,1 e 100 Å). A radiação absorvida faz com que a amostra emita uma radiação secundária de comprimento de onda peculiar aos elementos presentes na amostra. Essa radiação emitida é então registrada por detectores (Figura13).

A partir do espectro de fluorescência são obtidas informações sobre a presença ou não de determinado elemento, e suas respectivas concentrações. Os espectros de raios-X foram processados utilizando-se um software específico chamado AXIL (VEKEMANS et al, 1994) para obter as concentrações elementares.

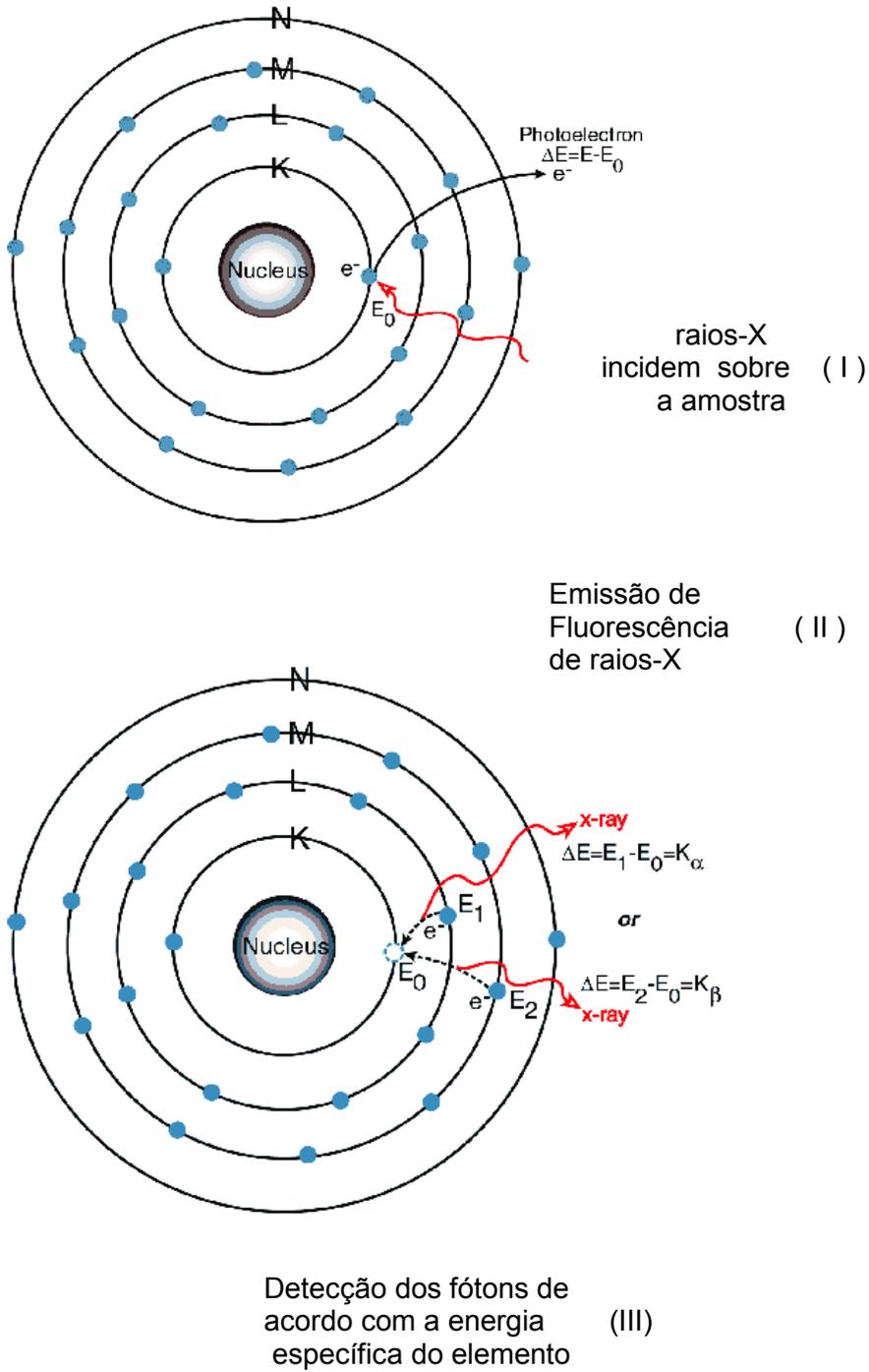


Figura 13– Princípio esquemático do método de FRX

### 3.2.1.1 Condições Experimentais da Análise do Material Total (*bulk*)

As medidas do material total foram realizadas por FRX utilizando-se o instrumento Epsilon 5 XRF-PANalytical (figura 14), que possui um espectrômetro tridimensional com geometria polarizada (15 alvos secundários). O tubo anódico pode operar no intervalo de voltagem de 25-100 kV e corrente de 0.5-24 mA (força máxima de 600 W). As análises dos elementos de alto peso molecular foram feitas utilizando-se 35KV, 0.35 mA e 10000 segundos de coleta e a análise dos elementos de baixo peso molecular foram realizadas a 10KV, 0.35 mA e 4000 segundos (VAN GRIEKEN, 2006). Os espectros de raios-X foram integrados pelo software AXIL (VEKEMANS et al, 1994).



Figura 14 - equipamento Epsilon 5 HE-P-EDXRF, PANALYTICAL

### 3.2.1.2 Fator de Enriquecimento

Com os dados obtidos pela FRX é possível calcular-se a concentração e a partir desta o fator de enriquecimento (FE) dos elementos encontrados. O FE é o resultado de um cálculo realizado a partir da concentração encontrada de um elemento no aerosol, relacionando-o com um padrão de concentração já estabelecido para esse elemento na natureza (HOORNAERT et al, 2004). O número obtido representa a proporcionalidade entre o que é esperado na natureza e o que foi encontrado daquele elemento na amostra coletada. Dessa forma é possível distinguir se um elemento é de fonte natural ou antropogênica (MAENHAUT et al, 1989). O cálculo é feito com a seguinte fórmula:

$$FE (X) = \frac{(C_x/C_{ref})_{\text{aerosol experimental}}}{(C_x/C_{ref})_{\text{valor padrão da crosta}}}$$

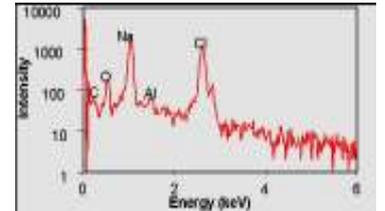
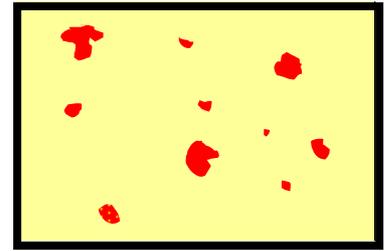
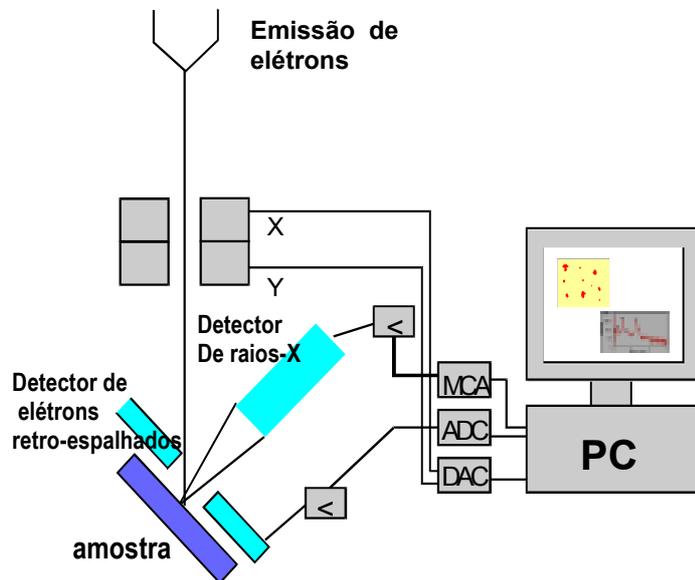
Onde  $C_x$  no numerador da equação é a concentração encontrada na amostra analisada do elemento X para o qual vai ser determinado o fator de enriquecimento e  $C_{ref}$  é a concentração do elemento de referência adotado encontrada na pesquisa;  $C_x$  no denominador da equação é a concentração do elemento X conforme tabela padrão para sua concentração na crosta terrestre dividido pela concentração do elemento de referência na mesma tabela. Nesta pesquisa tomou-se como referência o elemento Si para se calcular o FE dos elementos encontrados nas amostras coletadas por este estar presente em todas as amostras (MOLNAR et al, 1993). Elementos que apresentam FE com valores superiores a 4 são considerados como de origem antropogênica (DUCE et al, 1976). Para o elemento Si o resultado do FE será igual a 1. Os resultados obtidos podem ser observados nas tabelas 8 e 9 na seção 4.1.

### 3.2.2 Condições Experimentais da Análise de Partículas Individuais por MEV-EDS.

As partículas individuais de diversas frações granulométricas, foram coletadas utilizando-se amostrador de partículas em cascata, *May impactor*, para frações de 0,5 a 2 $\mu$ m e de 2 a 10 $\mu$ m sobre substrato de prata 99,99% pura. As amostras foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura (JEOL 733) acoplado a uma micro-sonda (Oxford)-MEV-EDS (Figura 18), o que permite a detecção e posterior análise de C, N e O. Para evitar o dano a uma partícula através do feixe de elétrons, é feito o resfriamento da amostra com nitrogênio líquido (cerca de - 193 °C). Aproximadamente 300 partículas foram analisadas automaticamente em cada estágio, totalizando mais de 600 partículas individuais por amostra e mais de 7.200 no total do material coletado. A figura 15 ilustra as etapas principais da análise automatizada de partículas individuais utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura acoplado a uma micro sonda.

Os espectros obtidos foram processados pelo software AXIL (VAN ESPEN, 1986) e os cálculos quantitativos da composição das partículas individuais foram feitos por um método recentemente desenvolvido baseado nas simulações interativas de Monte Carlo (RO, 2003). A interpretação dos dados foi feita através da análise hierárquica dos agrupamentos (*clusters*) pelo Integrated Data Analysis System – IDAS (BONDARENKO, 1996).

## MEV-EDS



- Gravação da imagem através dos elétrons retro-espalhados
- Decisão se a partícula será analisada (tamanho)
- Varredura de uma partícula com simultânea obtenção de um espectro de raios-X

Figura 15 – Análise da partículas individuais por MEV-EDS

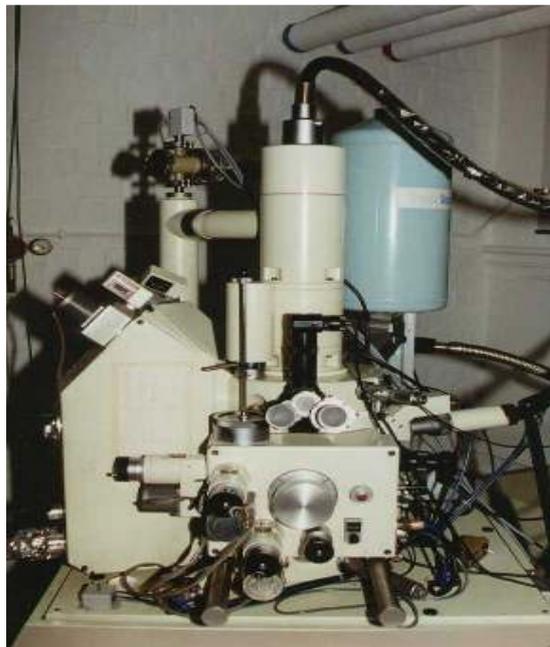


Figura 16 – Microscópio Eletrônico de Varredura Jeol JXA-733 acoplado a uma microsonda

### 3.2.2.1 Análise de partículas individuais por MEV-EDS

Diversos tipos de partículas têm sido identificados nos estudos de análise de partículas individuais de aerossóis atmosféricos. Para melhor entendimento dos resultados de MEV-EDS é útil um panorama sobre os tipos de partículas que têm sido descritos na literatura por diversos autores.

#### **Partículas ricas em silício e alumínio**

Partículas compostas majoritariamente por silício (Si) e alumínio (Al) e menos extensamente por elementos como Fe, K, Ca, Mg ou Ti são comumente encontrados nos estudos de aerossóis atmosféricos sendo denominadas de aluminossilicatos (GOMES and GILLETTE, 1993; GANOR et al., 1998; KATRINAK et al., 1995; POST and BUSECK, 1984; SAUCY et al., 1991; Van BORM and ADAMS, 1988 and XHOFFER et al., 1991, 1992). Estes aerossóis são originados de fontes naturais e antropogênicas.

A principal fonte natural dos aluminossilicatos suspensos no ar é poeira proveniente do solo pela ação do vento. Post and Buseck (1984) sugerem que algumas destas partículas podem ser originárias de atividades antropogênicas como tráfego de rodovias, agricultura, operações de mineração, desmatamento e desertificação, entre outros. Uma fonte antropogênica possível das partículas de aluminossilicatos é a queima de combustíveis fósseis (XHOFFER et al., 1991, 1992; GANOR et al., 1998).

### **Partículas ricas em Silício**

Partículas que consistem principalmente de Silício (Si) são identificados como quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). São freqüentemente encontrados na presença de partículas de aluminossilicatos (KATRINAK et al., 1995; SAUCY et al., 1991; XHOFFER et al., 1991, 1992). Isto se deve ao fato do quartzo ser um dos mais comuns minerais em solos (BETEKHTIN, 1965; Van MALDEREN et al., 1996a-b). Pode também ser formado durante a queima de combustível fóssil (KATRINAK and ZYGARLICHE, 1995).

### **Partículas ricas em Cálcio**

Partículas de cálcio (Ca) podem conter outros elementos tais como Si e S. Outras composições possíveis são: Ca, Ca-Si, Ca-S e Ca-S-Si. Em um inventário da emissão antropogênica de cálcio na Europa Lee and Pacyna (1999) encontraram três fontes: emissões de indústrias de aço, usinas termoelétricas e de cimento. Outra fonte antropogênica de partículas rica em cálcio é tráfego de veículos em pistas de concreto (KATRINAK et al., 1995). Partículas ricas em Ca-P têm sido descritas por diversos autores e são atribuídas à indústria de fertilizantes (GANOR et al., 1998; KATRINAK et al., 1995) ou material biológico (XHOFFER et al., 1991).  $\text{CaSO}_4$  é também emitido como resultado de processos de desulfurização em usinas termais que se utiliza do calcário para remover o  $\text{SO}_2$  (CHARLSON et al., 1978).

As emissões de cálcio podem ser originadas de fontes naturais através do levantamento da poeira pelo vento e podem conter calcita, dolomita, e gesso (KATRINAK et al., 1995; POST and BUSECK, 1984). Gomes and Gilletti (1993) concluíram que a poeira do deserto é freqüentemente rica em Ca. Durante análises de partículas isoladas de aluminossilicato enriquecido em Ca foram encontradas partículas compostas de calcita e dolomita,

sendo que este aerossol pode ser transportado por grandes distâncias. Lee and Pacyna (1999) afirmam que este transporte também é possível de ocorrer no caso de emissão antropogênica rica em Ca.

### **Partículas ricas em enxofre**

O termo partículas ricas em enxofre é usado para aerossóis que consistem principalmente do elemento enxofre (S). Charlson et al. (1978) fez um inventário detalhado de diferentes formas químicas de S que podem ser identificadas na atmosfera.

O composto mais comum de enxofre é o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). A forma mais comum encontrada na atmosfera é o bissulfato de amônio ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) que é o produto de neutralização do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  em presença de  $\text{NH}_3$ . Eles são produzidos tanto nas fontes quanto na atmosfera pela oxidação de  $\text{SO}_2$  (POST and BUSECK, 1984).

A principal etapa na formação de partículas ricas em S é a conversão gás-partícula. Além das emissões naturais de gases contendo S, emissões antropogênicas se tornaram mais e mais importantes, principalmente no hemisfério norte. Grandes quantidades de  $\text{SO}_2$  são emitidas por fontes antropogênicas por queima de combustíveis fósseis, emissão de automóveis, fundições, incineradores e caldeiras que favorecem tais conversões (CHARLSON and WIGLEY, 1994).

### **Partículas orgânicas**

Desde que partículas não biológicas são encontradas nas frações menores, elas são muito parecidas com as originadas de fontes antropogênicas como automóveis, aeronaves, usinas termoelétricas a óleo, incineradores ou ainda de fontes naturais por conversão gás-partícula de gases orgânicos (POST and BUSECK, 1984; KATRINAK et al., 1995). Nas

florestas tropicais, acredita-se que esses aerossóis secundários são responsáveis pela neblina que pode ser frequentemente observada nestes ambientes (d'ALMEIDA et al., 1991).. Incêndios florestais são também uma importante fonte de partículas ricas em carbono. Queima de biomassa pode ser considerada duplamente, uma fonte natural e antropogênica, uma vez que frequentemente esses incêndios são provocados pelo homem (GODOI et al., 2004). As emissões de queima de biomassa contém grande quantidade de carbono elementar e material orgânico (ARTAXO et al., 1998).

### **Partículas ricas em ferro**

Partículas ricas em ferro (Fe) são partículas que contém o elemento Fe como o principal componente e incluem diferentes subtipos tais como: Fe-Si, Fe-Si-S e Fe-S. Essas partículas podem ter origem em fontes naturais e antropogênicas. Além de argila, quartzo, micas, calcita e gesso, o material da crosta terrestre é composto de diferentes óxidos de ferro como magnetita ( $(\text{Mg/Fe})\text{Fe}_2\text{O}_4$ ) e limonita, a qual é uma mistura de goetita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (BATES and JACKSON, 1987; POST and BUSECK, 1984). Desse modo, partículas ricas em ferro podem ser suspensas e transportadas através do vento. Partículas ricas em ferro de origem natural podem também ser provenientes de poeira meteorítica, a qual pode ser significativa em locais remotos do planeta (XHOFFER et al., 1992). Partículas ricas em ferro são formadas durante a combustão de carvão, principalmente por fragmentação de minerais maiores formando partículas do tipo FeS,  $\text{FeCO}_3$  e  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$  (KATRINAK e ZYGARLICHE 1995). A presença de aerossóis ricos em Fe frequentemente são associados a emissões industriais de fundições, processos metalúrgicos e caldeiras de zinco (Zn), sendo encontradas em combinação com diversos outros elementos como Si, Ca, S, Zn e Mn (KATRINAK et al. 1995).

### **Partículas ricas em Potássio**

De acordo com Xhoffer et al. (1992), partículas contendo principalmente enxofre (S), potássio (K), e fósforo (P), podem estar relacionadas à emissão de aerossóis pela vegetação. A presença de tipos de partículas especialmente ricas em K e S têm sido encontradas também em ambientes biológicos conforme relatado por Ganor et al. (1998), Artaxo et al. (1998) e Van Borm e Adams (1988). Aerossóis biogênicos são produzidos por abrasão mecânica de folhagem de plantas por ação do vento, na atividade biológica de microorganismos de superfície de folhagens, pólen e esporos (BEAUFORD et al., 1977; XHOFFER et al., 1992). Também durante o transporte da colheita de plantas pode ocorrer a migração de  $K^+$  e outros elementos químicos para a atmosfera. Fontes adicionais de partículas ricas em K tem sido implicadas como queima de madeira, incêndio florestal, queima de agricultura, queima doméstica e a indústria de fertilizantes (GANOR et al., 1998 e HOPKE, 1985).

### **Partículas ricas em Cloro**

Em ambientes marinhos, grandes quantidades de aerossol de partículas ricas em cloro (Cl) são formadas por spray marinho. A cristalização do aerossol de sal marinho pode resultar na formação de partículas puras de NaCl. Frequentemente pequenas quantidades de Ca, Mg e S estão presentes, os quais podem também ser originários do mar. As pequenas partículas de aerossol de sal marinho podem ser transportadas por longas distâncias (KATRINAK et al., 1995 e SAUCY et al., 1991). Partículas de sal marinho com grande quantidade de S são caracterizadas como misturas de NaCl,  $Na_2SO_4$  e  $NaNO_3$  ou como sal marinho envelhecido. No último caso, partículas de NaCl reagem com  $SO_2$  resultando na formação de  $Na_2SO_4$  e liberando HCl para a atmosfera. Isso acontece quando as massas de ar marinho são misturadas com massas de ar antropogênicas (GANOR et al., 1998; XHOFFER et al., 1991).

No meio ambiente não marinho, Cl tem sido detectado em diversos tipos de partículas associadas com várias fontes, incluindo Cl fundição de alumínio e de zinco (na forma de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Partículas ricas em Cl e S, são atribuídas a material orgânico, ou madeira parcialmente queimada, papel ou plástico de incineradores e outros processos de combustão alumínio (POST and BUSECK, 1984). Hopke (1985) relatou altas emissões de Cl de diferentes processo de combustão como madeira e lixo.

### 3.2.3 Simulação de deposição pulmonar

A partir dos dados obtidos por MEV-EDS como a composição e tamanho das partículas e a abundância das mesmas nas amostras analisadas, foi realizado o cálculo de deposição de aerosol de  $\text{CaMgCO}_3$  no pulmão humano considerando um ser humano adulto com frequência respiratória de repouso, com respiração nasal. Para tanto se usou o modelo aleatório de deposição pulmonar de Bergmann et al. (1998). Nesse modelo, os parâmetros geométricos das vias aéreas humanas ao longo do percurso de uma partícula inalada foram selecionados de modo randomizado a partir de medidas funcionais de distribuição desses parâmetros, considerando que as probabilidades de deposição foram calculadas por equações específicas (KOBLINGER e HOFMANN,1990). Este modelo pulmonar aleatório é baseado em uma análise estatística das mensurações morfométricas do sistema respiratório de Raabe et al. (1980). Importantes parâmetros para o cálculo da deposição são o diâmetro e a densidade das partículas, o volume aspirado, a duração da respiração e a seleção de respiração bucal ou nasal. O programa ainda calcula o subsequente clearance (eliminação) da partícula das vias aéreas acinares e bronquiais. O resultado fornece informações de probabilidade de deposição nos diversos níveis das vias aéreas, como extratorácico, traqueobronquial, acinar e alveolar (ALFOLDY et al, 2002).

A partir de tal determinação é possível verificar qual o percentual do material particulado constituído de  $\text{CaMgCO}_3$  que pode penetrar no sistema respiratório humano bem como o nível de

alcance dessas partículas. Os resultados dessa simulação podem ser observados na tabela 20 da seção 4.3 de resultados e discussões.

### 3.3 REALIZAÇÃO DE ENTREVISTAS DOMICILIARES

Outra etapa da presente pesquisa constituiu-se da aplicação de um questionário para determinar a incidência de doenças respiratórias na população residente próxima das indústrias de cal do centro de Colombo. A escolha desse local ocorreu em função das suas características de ocupação urbana que surgiu em função da própria indústria de cal do ponto B de amostragem. Para manter a atividade ininterrupta dos fornos de cal os funcionários trabalham em turnos diurno e noturno. A indústria de cal viabilizou moradias em seus terrenos para que os funcionários residissem próximos da indústria e não necessitassem de meio de transporte para chegar ao trabalho. Como resultado formou-se um loteamento praticamente anexo à indústria de cal nesse local. Também foram realizadas perguntas abertas sobre a percepção que essa população tem de poluição ambiental em seu local de moradia.

Para termos um parâmetro de comparação dos resultados obtidos nessa população residente tão próxima dessa indústria, aplicamos o mesmo questionário em outra população residente em um bairro distante cerca de 5 Km desse local. Para a aplicação desse questionário contamos com a colaboração da Secretaria Municipal de Saúde da prefeitura do município de Colombo, através dos agentes comunitários de saúde que auxiliaram nas visitas às residências das duas localidades realizando as entrevistas (fig. 17).



Figura 17 - Agentes Comunitários de Colombo nas entrevistas domiciliares (Mar/2006)  
Fonte: o autor

Na localidade próxima ao ponto B de amostragem, foram visitados 40 domicílios onde residem 193 pessoas. Foi aplicado o questionário em entrevistas com as pessoas que estavam no domicílio no momento da visita, as quais informaram da existência ou não de sintomas respiratórios nos habitantes daquele domicílio, bem como sobre a sua percepção de poluição ambiental no seu local de moradia.

Na outra localidade, chamada Jardim Santa Tereza, distante cerca de 5 km do primeiro local, foram visitados 47 domicílios onde moram 151 pessoas.

Os dados obtidos com os questionários foram tabulados e podem ser observados em síntese na figura 19 e tabelas 21 e 22 na seção 4.5 de resultados e discussão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são aqui apresentados na mesma seqüência dos métodos empregados para melhor compreensão dos mesmos. Convém ressaltar o aspecto de que no ponto A situa-se a indústria que dispõe de um sistema de filtros, o que não ocorre com a indústria do ponto B.

### 4.1 Análises por espectrometria por fluorescência de raios-x - FRX

As tabelas 8 (ponto A) e 9 (ponto B) apresentam as somatórias das concentrações calculadas para os elementos detectados por FRX, nos diversos dias de coleta, bem como a média da concentração de cada elemento para os dias pesquisados. No período de amostragem houve chuva nos dias 31 de dezembro de 2005 e 1º. de janeiro de 2006.

Os elementos Al, Si, S, Cl, K, Ca e Fe, foram detectados como os de maior abundância nos aerossóis estudados com concentrações médias maiores que  $100 \text{ ng/m}^3$ . Especificamente, o elemento Ca atingiu o máximo de  $3.844 \text{ ng/m}^3$  no ponto A e  $18.626 \text{ ng/m}^3$  no ponto B, indicando que nesse ponto há maior presença desse elemento no material particulado emitido para a atmosfera. Os elementos Ti, Cr, Mn, foram identificados como elementos de concentração intermediária, variando de 10 a  $100 \text{ ng/m}^3$ . Elementos que apresentaram média de concentrações inferiores a  $10 \text{ ng/m}^3$ , tais como Zn e Cu, foram classificados como elementos de menor concentração.

**Tabela 8 – Somatória da concentração elementar das frações em ng/m<sup>3</sup> nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro 2005 e 02 de Janeiro de 2006 no ponto A**

<b>Dia da coleta</b>	26.12.05	27.12.05	28.12.05	29.12.05	30.12.05	31.12.05	01.01.06	02.01.06
<b>Elementos</b>								
Al	157.6	230.6	259.7	75.5	129.8	0.0	48.6	0.0
Si	331.8	428.8	444.8	145.6	281.1	41.9	100.3	59.1
S	173.7	338.2	286.9	192.7	340.9	44.0	189.9	50.3
Cl	369.9	707.9	634.1	188.7	345.4	33.7	149.8	46.9
K	272.0	678.3	410.4	231.3	553.0	50.7	236.0	60.3
Ca	1539.4	3844.2	3129.6	1170.4	2358.4	244.0	1050.9	283.5
Ti	22.8	40.9	35.3	15.1	37.2	0.0	9.2	5.8
Mn	39.3	113.1	58.2	23.6	65.8	0.0	19.0	0.0
Fe	222.8	316.4	309.2	105.3	169.7	19.4	73.7	37.9
Zn	0.0	9.9	0.0	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0

**Tabela 9 - Somatória da concentração elementar das frações em ng/m<sup>3</sup> nas amostras coletadas em Colombo entre 30 de Dezembro 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B**

<b>Dia da coleta</b>	30.12.05	31.12.05	01.01.06	02.01.06	03.01.06	04.01.06	05.01.06	06.01.06
<b>Elementos</b>								
Al	268.6	57.0	0.0	75.0	230.6	96.7	88.2	185.2
Si	367.2	76.2	28.4	115.9	243.7	158.3	154.3	271.1
S	181.3	136.3	120.4	145.4	187.0	190.5	259.5	286.5
Cl	130.3	95.3	35.1	145.8	218.7	325.7	271.5	286.2
K	303.4	364.3	245.2	216.7	236.6	336.8	314.9	370.7
Ca	2029.5	604.4	730.0	7744.1	18626.6	10395.0	10228.1	12965.1
Ti	39.4	11.6	3.4	13.0	21.1	15.6	17.6	22.5
Cr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.2	24.6	12.4
Mn	10.6	13.4	0.0	10.3	29.3	32.9	24.6	36.3
Fé	308.3	82.1	26.9	115.4	244.0	133.5	158.8	232.9
Cu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0

Especificamente nos dias 31 de Dezembro e 01 de Janeiro observamos uma redução na concentração de todos os elementos no material particulado analisado. Este fato coincide com os dias em que ocorreu chuva, demonstrando o papel purificador que a chuva exerce na atmosfera. Nos demais dias, apesar do período de feriados natalino e de ano novo, não há

interrupção da produção das referidas fábricas, que mantêm os fornos operantes continuamente, uma vez que seria mais oneroso desligá-los e reaquecê-los após os feriados.

O fato do ponto B estar próximo da indústria que não utiliza um sistema de filtro é perceptível pela quantidade de emissão de material particulado que é, pela média de concentração quatro vezes maior que no ponto A, e em termos absolutos até 27 vezes maior. Além disso a topografia do ponto B dificulta a dispersão do material particulado porque se situa em uma depressão topográfica (Figura 20), o que acentua a concentração do material particulado em suspensão na atmosfera local.



Figura 18 Localização do Ponto B em uma depressão topográfica

Fonte: Google earth

O elemento de maior concentração encontrado foi o Ca, que pode também ter origem natural como demonstrado por Hoornaert et al. (2004) em pesquisa realizada em uma remota

estação astronômica no Kazaquistão. No entanto, Hoornaert registrou um máximo de concentração de 892 ng/m<sup>3</sup> enquanto em nosso trabalho registramos médias ao redor de 8000 ng/m<sup>3</sup>, alcançando até 18.626,6 ng/m<sup>3</sup> no ponto B para o somatório de todas as frações pesquisadas, o que sugere definitivamente uma contribuição antropogênica devido às indústrias de cal. Igualmente o elemento Cl que na pesquisa do Kazaquistão alcançou o máximo de 2,7 ng/m<sup>3</sup>, em nossa pesquisa chegou a 709,9 ng/m<sup>3</sup> no ponto A para o somatório de todas as frações pesquisadas, sendo a presença desse elemento relacionada indiretamente ao processo de produção da cal, por meio da queima de biomassa, nesse caso a serragem, utilizada como combustível para os fornos de cal. Os elementos Al, Si, K, Fe, Ti, Zn e Cu, fazem parte de um grupo chamado de aluminossilicatos, diretamente associados às fontes naturais de poeira e que são facilmente transportados pelo vento. Essas partículas de aluminossilicato mostraram-se mais abundantes no ponto B onde há o carregamento de cal a granel realizado a céu aberto, e não há pavimentação do pátio da empresa por onde circulam os caminhões e máquinas. O elemento S é resultante tanto da queima de combustíveis fósseis, automóveis e caminhões, como da queima de biomassa já mencionada.

As tabelas de 10 a 15 apresentam as frações por tamanho de partícula e as concentrações dos elementos detectados por FRX nos respectivos pontos de coleta A e B.

**Tabela 10 – Concentração elementar da fração maior que 10 µm em ng/m<sup>3</sup> nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro 2005 e 02 de Janeiro de 2006 no ponto A**

<b>Dia da coleta</b>	26.12.05	27.12.05	28.12.05	29.12.05	30.12.05	31.12.05	01.01.06	02.01.06
<b>Elementos</b>								
<b>Al</b>	158.0	231.0	260.0	75.0	<b>130.0</b>	<b>0</b>	<b>49.0</b>	<b>0</b>
<b>Si</b>	297.0	429.0	445.0	146.0	<b>197.0</b>	<b>42.0</b>	<b>100.0</b>	<b>59.0</b>
<b>K</b>	98.0	211.0	138.0	80.0	<b>127.0</b>	<b>15.0</b>	<b>56.0</b>	<b>24.0</b>
<b>Ca</b>	1,377.0	3,492.0	2,790.0	1,009.0	<b>1,959.0</b>	<b>146.0</b>	<b>917.0</b>	<b>195.0</b>
<b>Ti</b>	20.0	38.0	31.0	12.0	<b>26.0</b>	<b>0</b>	<b>9.0</b>	<b>6.0</b>
<b>Fe</b>	194.0	286.0	271.0	85.0	<b>131.0</b>	<b>19.0</b>	<b>74.0</b>	<b>38.0</b>
<b>Mn</b>	33.0	99.0	46.0	24.0	<b>66.0</b>	<b>0</b>	<b>19.0</b>	<b>0</b>
<b>S</b>	33.0	125.0	128.0	39.0	<b>55.0</b>	<b>15.0</b>	<b>71.0</b>	<b>19.0</b>
<b>Cl</b>	186.0	349.0	470.0	131.0	<b>114.0</b>	<b>14.0</b>	<b>109.0</b>	<b>23.0</b>

**Tabela 11 – Concentração elementar da fração maior que 10 µm em ng/m<sup>3</sup> nas amostras coletadas em Colombo entre 30 de Dezembro 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B**

<b>Dia da coleta</b>	<b>30.12.05</b>	<b>31.12.05</b>	<b>01.01.06</b>	<b>02.01.06</b>	03.01.06	04.01.06	05.01.06	06.01.06
<b>Elementos</b>								
<b>Al</b>	<b>233.0</b>	<b>57.0</b>	<b>0.0</b>	<b>75.0</b>	231.0	97.0	88.0	185.0
<b>Si</b>	<b>313.0</b>	<b>76.0</b>	<b>28.0</b>	<b>116.0</b>	244.0	158.0	154.0	271.0
<b>K</b>	<b>99.0</b>	<b>97.0</b>	<b>55.0</b>	<b>43.0</b>	0.0	50.0	39.0	72.0
<b>Ca</b>	<b>1838.0</b>	<b>503.0</b>	<b>623.0</b>	<b>6212.0</b>	17043.0	9006.0	8299.0	11688.0
<b>Ti</b>	<b>31.0</b>	<b>9.0</b>	<b>3.0</b>	<b>9.0</b>	21.0	13.0	15.0	20.0
<b>Fe</b>	<b>256.0</b>	<b>65.0</b>	<b>27.0</b>	<b>84.0</b>	218.0	108.0	118.0	202.0
<b>Mn</b>	<b>11.0</b>	<b>13.0</b>	<b>0.0</b>	<b>10.0</b>	29.0	33.0	25.0	36.0
<b>S</b>	<b>29.0</b>	<b>37.0</b>	<b>13.0</b>	<b>58.0</b>	77.0	41.0	97.0	152.0
<b>Cl</b>	<b>26.0</b>	<b>29.0</b>	<b>15.0</b>	<b>64.0</b>	122.0	125.0	115.0	166.0

Na comparação da fração maior que 10 µm, encontramos um padrão de distribuição para os pontos A e B com concentrações de Ca no ponto B, com média seis vezes maior que no ponto A, e em termos absolutos, apresenta-se 31 vezes maior para o dia 2 de janeiro (tabelas 10 e 11). Esse padrão se mantém para a fração de tamanho maior que 2 a 10 µm, com a média de concentração do Ca quatro vezes maior, e se comparadas medidas isoladas são até 22 vezes maior no ponto B (tabelas 12 e 13).

**Tabela 12 – Concentração elementar da fração maior que 2 a 10 µm em ng/m<sup>3</sup> encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro de 2005 a 02 de janeiro de 2006 no ponto A**

<b>Dia da coleta</b>	26.12.05	27.12.05	28.12.05	29.12.05	<b>30.12.05</b>	<b>31.12.05</b>	<b>01.01.06</b>	<b>02.01.06</b>
<b>Elementos</b>								
<b>Si</b>	35	0	0	0	<b>37</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>K</b>	143	388	263	81	<b>214</b>	<b>12</b>	<b>80</b>	<b>15</b>
<b>Ca</b>	123	314	329	142	<b>312</b>	<b>77</b>	<b>112</b>	<b>60</b>
<b>Ti</b>	2	3	4	3	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Cr</b>	29	31	38	21	<b>39</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Cu</b>	6	14	12	0	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Zn</b>	48	49	60	51	<b>53</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>53</b>
<b>Al</b>	77	185	136	84	<b>158</b>	<b>0</b>	<b>54</b>	<b>0</b>
<b>S</b>	89	313	152	37	<b>89</b>	<b>10</b>	<b>21</b>	<b>10</b>

**Tabela 13 - Concentração elementar da fração maior que 2 a 10  $\mu\text{m}$  em  $\text{ng}/\text{m}^3$  encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 30 de Dezembro 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B**

<b>Dia da coleta</b>	<b>30.12.05</b>	<b>31.12.05</b>	<b>01.01.06</b>	<b>02.01.06</b>	03.01.06	04.01.06	05.01.06	06.01.06
<b>Elementos</b>								
<b>Si</b>	54	0	0	0	0	0	0	0
<b>K</b>	99	147	82	131	92	208	236	223
<b>Ca</b>	170	74	98	1344	1306	1329	1901	1257
<b>Ti</b>	6	3	0	0	0	2	3	3
<b>Cr</b>	45	17	0	18	26	26	32	31
<b>Zn</b>	40	55	33	53	65	172	142	56
<b>Al</b>	66	32	45	59	44	112	134	100
<b>S</b>	12	46	13	67	68	184	148	112

Para a fração de tamanho de partículas de 0,4 a 2  $\mu\text{m}$ , a média das concentrações de Ca é duas vezes maior para o ponto B, e em números absolutos é 6 vezes maior para o dia 2 de Janeiro (tabelas 14 e 15).

**Tabela 14 - Concentração elementar da fração de 0,4 a 2  $\mu\text{m}$  em  $\text{ng}/\text{m}^3$  encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 26 de Dezembro de 2005 a 02 de janeiro de 2006 no ponto A**

<b>Dia da coleta</b>	26.12.05	27.12.05	28.12.05	29.12.05	<b>30.01.05</b>	<b>31.12.05</b>	<b>01.01.06</b>	<b>02.01.06</b>
<b>Elementos</b>								
<b>K</b>	30.9	79.7	8.5	69.8	211.7	23.8	100.0	21.0
<b>Ca</b>	39.6	38.0	10.3	19.7	87.6	21.2	22.0	29.0
<b>Ti</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0
<b>Fe</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>S</b>	64.4	28.6	22.7	69.2	127.5	29.2	64.0	31.0
<b>Cl</b>	94.3	46.4	11.9	20.6	142.4	10.3	19.0	14.0

**Tabela 15 – Concentração elementar da fração de 0,4 a 2  $\mu\text{m}$  em  $\text{ng}/\text{m}^3$  encontrados nas amostras coletadas em Colombo entre 30 de Dezembro 2005 e 06 de Janeiro de 2006 no ponto B**

<b>Dia da coleta</b>	<b>30.12.05</b>	<b>31.12.05</b>	<b>01.01.06</b>	<b>02.01.06</b>	03.01.06	04.01.06	05.01.06	06.01.06
<b>Elementos</b>								
<b>K</b>	105.4	120.5	108.6	42.9	145.1	79.1	40.7	72.7
<b>Ca</b>	20.8	27.6	8.2	188.1	278.5	60.0	28.1	18.5
<b>Ti</b>	2.1	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Fe</b>	7.9	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0	9.5	0.0
<b>S</b>	86.2	67.7	62.8	28.4	65.4	38.1	28.5	33.8
<b>Cl</b>	91.4	19.6	7.0	15.0	29.5	16.0	148.3	112.3

Ao analisarmos a abundância de outros elementos além do cálcio que figurou aqui como um marcador para a atividade da produção da cal, considerando que a matéria prima para a mesma é uma rocha calcária rica nesse elemento. Observou-se, por exemplo, concentrações de Cl superiores ao encontrados por Castanho (1999) em São Paulo, a maior metrópole do Brasil. Em sua pesquisa, Castanho encontrou valores máximos de  $123,3 \text{ ng/m}^3$  para o cloro no material particulado grosso, enquanto em Colombo nós encontramos  $470 \text{ ng/m}^3$  na fração maior que  $10 \mu\text{m}$  no ponto A de amostragem e  $166 \text{ ng/m}^3$  no ponto B. Se considerarmos a fração fina de material particulado Castanho não encontrou o elemento cloro em sua amostragem de São Paulo enquanto em Colombo nós encontramos para essa fração entre  $0,4$  e  $2,0 \mu\text{m}$  o elemento cloro com as concentrações de  $142,4 \text{ ng/m}^3$  no ponto A e  $148,3 \text{ ng/m}^3$  no ponto B de amostragem.

Portanto o de material particulado suspenso na atmosfera do centro de Colombo chega a ser mais concentrado para o elemento cloro que na capital conhecida como a mais poluída do país, o que sem dúvida não é uma situação confortável em termos de saúde pública e fornece mais um elemento para explicar os dados epidemiológicos do município de Colombo.

#### 4.1.1 Fator de Enriquecimento

Tendo como base o elemento Si para determinar o fator de enriquecimento dos elementos encontrados nas amostras analisadas por FRX e utilizando a somatória das concentrações desses elementos nas suas frações de tamanho de partículas, obtivemos os resultados expressos nas tabelas 16 e 17. Valores acima de quatro são considerados enriquecidos além do natural e diretamente associados com atividades antropogênicas (HOORNAERT et al, 2004). Podemos observar a presença do elemento Ca com valores de

enriquecimento muito acima do esperado na natureza, demonstrando a ação das indústrias de cal na produção de material particulado na atmosfera dos locais pesquisados.

Os elementos Cl e S também aparecem abundantemente e são atribuídos ao processo de produção de cal por meio da queima ininterrupta de serragem utilizada como fonte de energia para aquecer os fornos e aparecem igualmente aumentados nos pontos A e B. Observa-se que no ponto B, o elemento Ca apresenta fator de enriquecimento até 10 vezes maiores que o ponto A, demonstrando que as medidas tomadas pela indústria do ponto A, de instalação de filtros de coluna de água para o forno e filtros de manga para a moagem da pedra calcinada e o calçamento do pátio de operação de transporte, tem contribuído para a redução parcial da emissão de material particulado proveniente da matéria prima da cal.

**Tabela 16 – Fator de Enriquecimento para a somatória das concentrações dos elementos encontrados nas amostras do ponto A tendo como referência o elemento Si**

<b>Dia da coleta</b>	<b>26.12.05</b>	<b>27.12.05</b>	<b>28.12.05</b>	<b>29.12.05</b>	<b>30.12.05</b>	<b>31.12.05</b>	<b>01.01.06</b>	<b>02.01.06</b>
<b>Elementos</b>								
<b>Al</b>	2	2	2	2	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Si</b>	1	1	1	1	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>S</b>	560	840	690	1400	<b>1</b>	<b>1100</b>	<b>2000</b>	<b>900</b>
<b>Cl</b>	2380	3500	3000	2800	<b>1</b>	<b>1700</b>	<b>3100</b>	<b>1700</b>
<b>K</b>	9	17	10	17	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>11</b>
<b>Ca</b>	35	70	54	60	<b>8</b>	<b>45</b>	<b>80</b>	<b>37</b>
<b>Ti</b>	4	6	5	7	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Cr</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Mn</b>	35	77	38	47	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>55</b>	<b>0</b>
<b>Fe</b>	4	4	4	4	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Ni</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Cu</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Zn</b>	0	91	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tabela 17 – Fator de Enriquecimento para a somatória das concentrações dos elementos encontrados nas amostras do ponto B tendo como base o elemento Si**

<b>Dia da coleta</b>	<b>30.12.05</b>	<b>31.12.05</b>	<b>01.01.06</b>	<b>02.01.06</b>	03.01.06	04.01.06	05.01.06	06.01.06
<b>Elementos</b>								
<b>Al</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	3	2	2	1
<b>Si</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	1	1	1	
<b>S</b>	<b>530</b>	<b>1900</b>	<b>4500</b>	<b>1340</b>	820	1300	1800	1120
<b>Cl</b>	<b>760</b>	<b>2600</b>	<b>2630</b>	<b>2700</b>	1900	4400	3700	2250
<b>K</b>	<b>9</b>	<b>50</b>	<b>93</b>	<b>20</b>	10	23	22	15
<b>Ca</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>200</b>	<b>510</b>	590	500	510	365
<b>Ti</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	5	6	7	5
<b>Cr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0	790	440	130
<b>Mn</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	35	61	47	39
<b>Fe</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	6	5	6	5
<b>Ni</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0	0	0
<b>Cu</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0	330	0	0
<b>Zn</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	220	0	0	0

Entretanto, quando considerada a emissão decorrente do combustível que alimenta os fornos de cal, as duas indústrias são igualmente emissoras de material particulado na atmosfera como demonstrado pela concentração de cloro e enxofre.

Através dos dados de fator de enriquecimento confirmamos que o material particulado encontrado nas amostras é proveniente da atividade produtiva das indústrias de cal que estão lançando tais partículas para a atmosfera.

#### 4.2 Análise por microscopia eletrônica de varredura acoplada a micro-sonda - MEV-EDS

Partículas carbonosas e derivadas do solo (poeira), aqui denominada de Alumino-silicato, são extremamente abundantes, principalmente no ponto B. Partículas carbonosas podem ser separadas em três grupos diferentes de espécies que são: partículas biogênicas, partículas ricas

em carbono e partículas orgânicas. Partículas biogênicas são identificadas quando a concentração de C e O nas partículas são similares e quando elas também contêm espécies com N, P, Cl e ou S acima de 10% em peso, sendo estes elementos característicos de partículas biogênicas (RO et al, 2001). Quando a quantidade de C é aproximadamente três vezes maior que a quantidade de O, as partículas são identificadas como ricas em carbono ou fuligem. Partículas são consideradas como orgânicas quando as mesmas contêm uma concentração de C e O somadas acima de 80 % e não contêm N, P, Cl e ou S em significativa proporção. Se as partículas contem mais de 50 % em peso de Cl, denominamos esta partícula rica em cloro, o mesmo acontecendo para partículas ricas em Fe (GODOI et al, 2004). Neste trabalho, especificamente investigamos a presença de partículas associadas à produção de cal. Assim, partículas são classificadas como ricas em Ca-Mg quando a soma das concentrações de Ca e Mg nas partículas é maior que 70% em massa. Se as partículas acima também contêm uma alta concentração de O, elas são identificadas como Ca-Mg/orgânica

As partículas individuais foram coletadas em intervalos fracionados de 0.5-2.0  $\mu\text{m}$  e 2.0-8.0  $\mu\text{m}$  para cada dia de amostragem. Os resultados obtidos por MEV-EDS expressos em abundância relativa das partículas encontradas estão apresentados nas tabelas 18 e 19 que representam os resultados dos pontos de amostragem A e B respectivamente.

Os principais grupos identificados em Colombo são: partículas ricas em Ca-Mg e sua combinação com compostos orgânicos, partículas biogênicas, aluminossilicato (poeira) e partículas orgânicas. Em ambos os pontos amostrados, partículas relacionadas à produção de Cal são abundantes em ambas as frações de tamanho pesquisadas. No ponto A, a proporção de partículas de Ca-Mg na fração fina, 0.5-2.0  $\mu\text{m}$ , é bastante expressiva, variando de 10% até 64% sendo três vezes maior que a porcentagem das mesmas partículas na fração grossa, 2.0-8.0  $\mu\text{m}$ , de 4% até 27%.

A abundância do grupo associado às partículas de poeira, aluminossilicato, é bastante proeminente no ponto B, tendo variado de 7% até 56% em função dos dias de coleta que foram próximos e durante os feriados de fim de ano quando o ritmo de funcionamento dessas indústrias é alterado. A elevada presença de poeira é fundamentalmente associada à re-suspensão do solo devido ao vento e tráfego de carros e caminhões em ruas não pavimentadas. Tanto a emissão das partículas biogênicas como das partículas ricas em cloro são provavelmente originadas da queima de biomassa utilizada nos fornos utilizados na calcinação do material. Partículas ricas em ferro, na maior parte na fase  $Fe_2 O_3$ , foram detectados em frações grosseiras e finas. Esta observação implica que estas partículas têm principalmente uma fonte antropogênica, desde que os óxidos derivados do solo são relacionados com as partículas que contêm uma porcentagem considerável do aluminossilicatos e/ou de silicatos, sendo observadas em porcentagens reduzidas.

**Tabela 18 - Abundância relativa dos tipos de partículas (clusters) obtida pela análise por MEV-EDS do aerossol coletado em Colombo no ponto A.**

Tipos de partículas		Biogênica	Alumino silicato	Fe-rico	Carbono-rico	Cl-rico	Ca Mg-rico	Orgânica
data	Tamanho ( $\mu m$ )							
27/12/05	(0.5-2.0)	0.5	4.0	0.5	0.5	2.5	64.3	27.6
	(2.0-8.0)	8.6	15.8	2.1	4.5	1.6	27.8	39.6
30/12/05	(0.5-2.0)	20.2	36.3	9.7	0.0	0.8	22.6	10.5
	(2.0-8.0)	5.5	12.2	4.4	3.6	2.8	3.9	67.7
01/01/06	(0.5-2.0)	20.8	8.3	3.3	6.7	22.5	10.0	28.3
	(2.0-8.0)	24.5	37.8	6.6	1.0	2.0	4.1	24.0

**Tabela 19 - Abundância relativa dos tipos de partículas (clusters) obtida pela análise por MEV-EDS do aerossol coletado em Colombo no ponto B.**

Tipos de partículas		Ca-Mg-rico	Orgânico	Alumino silicato	Fe-rico	Carbono-rico	Ca-Mg/Orgânico
data	tamanho						
30/12/05	(0.5-2.0 $\mu$ m)	30.5	2.1	54.5	5.9	1.1	5.9
	(2.0-8.0 $\mu$ m)	4.4	9.2	56.3	0.0	9.2	20.9
01/01/06	(0.5-2.0 $\mu$ m)	13.1	28.1	27.1	3.0	6.5	22.1
	(2.0-8.0 $\mu$ m)	5.1	15.8	36.7	3.1	1.5	37.8
03/01/06	(0.5-2.0 $\mu$ m)	50.0	11.9	7.7	1.0	4.6	24.7
	(2.0-8.0 $\mu$ m)	43.0	30.5	13.4	7.8	3.2	2.1

A última classe de partículas é o conjunto que contém a espécie de Cálcio. Predominantemente dois grupos foram encontrados: dolomita – CaOMgO e mistura dolomita-matéria orgânica - CaOMgO/orgânico. A abundância elevada de partículas CaOMgO durante toda a amostragem sugere tanto a emissão ininterrupta deste tipo de partícula, como a significância desta fonte de poluição. As partículas de CaOMgO prevalecem tanto nas frações finas como grossas e compreendem intervalos amplos de abundância. No ponto A, a abundância da fração fina esta compreendida entre 64 – 10% e a fração grossa entre 27 -4%. No ponto B, o percentual varia de 50 – 13 % na fração fina e de 43 -4% na fração grossa.

Em todas as amostras coletadas no ponto B, a presença da espécie composta de CaOMgO e matéria orgânica foi identificada em consideráveis proporções em ambas as frações granulométricas.

Há diversas possibilidades teóricas para a origem do CaOMgO/orgânico incluindo desde calcinamento parcial devido à baixa temperatura e ou estequiometria da rocha calcinada, até o

crescimento e nucleação da espécie CaOMgO que absorve compostos orgânicos do meio ambiente, formando a partícula aqui denominada CaOMgO/orgânica.

Observou-se que no ponto A de amostragem apresentou uma menor abundância de partículas atribuíveis à produção de cal como as ricas em Ca-Mg, e corresponde a indústria que possui um sistema de filtros por cortina d'água e filtros de manga, sugerindo a efetividade desses sistemas em reduzir a emissão do material particulado, embora não o elimine completamente. Também em relação às partículas de aluminossilicato, que correspondem à poeira do solo, foram menos abundantes no ponto A onde a indústria possui pavimentação no pátio de manobras de máquinas e caminhões, do que no ponto B que não possui pavimentação, demonstrando que a pavimentação reduz a produção desse tipo de material particulado.

#### 4.3 Simulação de deposição pulmonar

Baseado nos resultados obtidos das análises das partículas individuais, simulou-se a deposição pulmonar deste tipo específico de partícula que é característica da produção industrial da cal. Tal simulação foi baseada nos modelos computacionais de KOBLINGER e HOFMANN, 1990 e BERGMANN et al, 1998. Considerou-se a abundância relativa das partículas finas (0.5-2.0  $\mu\text{m}$ ) e grossas (2.0-8.0  $\mu\text{m}$ ) ricas em Ca-Mg que são as de origem antropogênica provenientes da atividade industrial da produção de cal para a realização dessa simulação. Utilizou-se a abundância das partículas em suas frações, tamanho médio das partículas, densidade média das partículas e a condição de respiração do indivíduo que foi considerado

como um adulto em repouso. Os resultados da simulação para os dados obtidos no ponto B da pesquisa estão representados na tabela 20 que demonstra o percentual de deposição das frações fina e grossa nos três níveis do sistema respiratório humano.

Tabela 20 – Simulação de deposição pulmonar de partículas de CaOMgO no ponto B

<b>Tamanho</b>	<b>Vias aéreas superiores</b>	<b>bronquial</b>	<b>alveolar</b>
<b>Fração Fina (0.5-2.0 µm)</b>	20,4%	4,0%	19,3%
<b>Fração Grossa (2.0-8.0 µm)</b>	68,7%	6,8%	11,8%

Para as partículas grossas, a maior deposição se dá em nível de vias aéreas superiores, apresentando capacidade de deposição três vezes maior que a fração fina. Isso se deve a maior massa dessas partículas que favorece a deposição por choque direto com as mucosas desse nível do sistema respiratório. Já as partículas finas conseguem penetrar em maior proporção até a porção alveolar do trato respiratório, sendo este o mecanismo gerador de doenças pulmonares crônicas por deposição. As partículas menores tendem a permanecer em suspensão no ar no interior das vias respiratórias, o que lhes confere um potencial de atingir os alvéolos pulmonares que é o dobro das partículas pesadas.

A presença de partículas inaláveis na atmosfera é um fator de causa e agravamento das doenças pulmonares (BRANCO, 1995), tanto para doenças agudas como crônicas (ALGRANTI e CAPITANI apud LOPES, 2006). Nossos resultados sugerem, portanto, uma relação de causalidade com os índices de morbidade e mortalidade por doenças pulmonares que é aumentado na população de Colombo.

#### 4.4 Questionário de doenças respiratórias e percepção de poluição ambiental

Os resultados da aplicação do questionário sobre sintomas respiratórios estão apresentados na tabela 21 e na figura 19. Observamos que os moradores que vivem próximos às indústrias de cal apresentam uma maior incidência para todos os sintomas respiratórios pesquisados na comparação com os moradores de uma área distante das indústrias.

Para validação dos resultados aplicamos o teste não paramétrico do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) o qual é muito eficiente para avaliar a associação existente entre variáveis qualitativas (dados do tipo categórico) (CALLEGARI-JACQUES, 2003). A fórmula para o cálculo é a seguinte:

$$\chi^2 = \sum \left( \frac{O - E}{\sqrt{E}} \right)^2$$

onde O = frequência observada e E = frequência esperada

A aplicação desse teste para os diversos sintomas nas duas populações pesquisadas demonstrou significância estatística, com  $p < 0,05$ , para os sintomas de falta de ar, catarro, internação no último ano por problema pulmonar, irritação nos olhos e nariz trancado. Para o sintoma de tosse que não é significativo se considerada a população total, se fizermos um corte por faixa etária menor que dez anos de idade, também será significativo no teste. Isso significa que a população que reside mais próxima da indústria de cal apresenta maior proporção desses sintomas citados e há 95% de certeza que o fator exposição ao material particulado proveniente das atividades das indústrias de cal está implicado nessa maior incidência de sintomas.

Para confirmação desses resultados foi realizado também o teste t de Student para proporções de amostras independentes com intervalo de confiança de 95%, tendo sido observado significância estatística para todos os sintomas avaliados exceto dor de cabeça, reforçando ainda mais a relação de nexo de causalidade entre os sintomas e a exposição ao material particulado.

Tabela 22 Distribuição dos sintomas nos moradores próximos e distantes das indústrias de cal

	<b>moradores distantes</b>	<b>moradores próximos</b>	<b>Significância pelo <math>\chi^2</math></b>	<b>Significância pelo t de Student</b>
<b>domicílios</b>	47	40	-	-
<b>moradores</b>	151	193	-	-
<b>tosse (geral)</b>	25	53	Não	Sim
<b>Tosse (crianças)</b>	5	19	Sim	Sim
<b>falta de ar</b>	8	22	Sim	Sim
<b>chio no peito</b>	9	22	Não	Sim
<b>catarro</b>	11	32	Sim	Sim
<b>interrnação</b>	1	12	Sim	Sim
<b>irritação nos olhos</b>	14	33	Sim	Sim
<b>irritação no nariz</b>	14	26	Não	Sim
<b>nariz trancado</b>	11	36	Sim	Sim
<b>dor de cabeça</b>	28	46	Não	Não

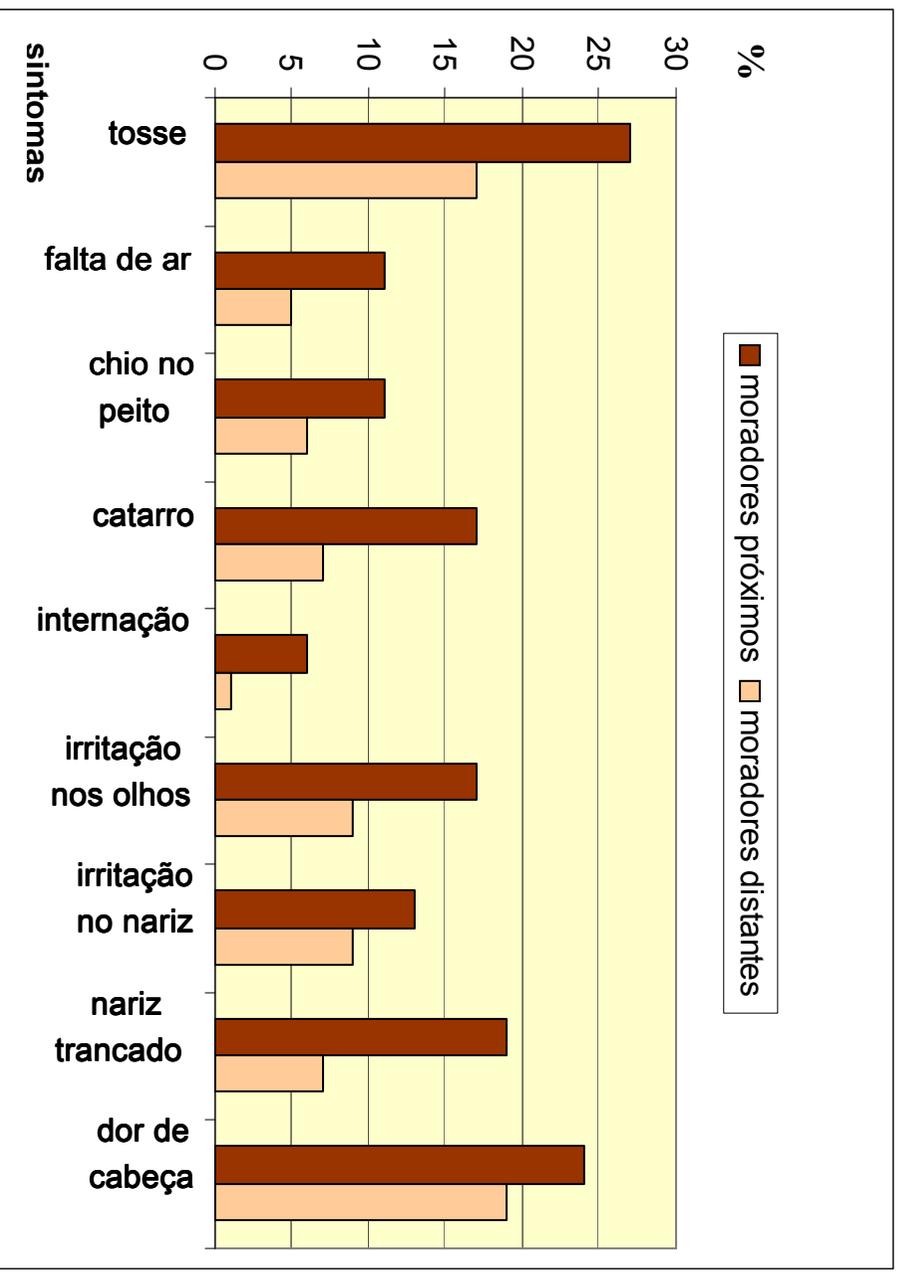


Figura 19 – Percentagem de sintomas respiratórios em moradores residentes próximos e distantes da indústria de cal do ponto B de amostragem em percentual de sintomas.

Esse resultado da análise estatística dos sintomas é compatível com o estudo de deposição, que demonstrou que o material particulado encontrado nesta pesquisa, tem uma capacidade de penetração e deposição no trato respiratório da população humana exposta em todos os níveis, podendo estar implicado na geração ou agravamento de todos esses sintomas.

Além dos aspectos de maior incidência de sintomas respiratórios e internamentos nos moradores próximos é interessante observar as respostas sobre a percepção de poluição ambiental entre as duas populações (tabela 22).

Tabela 22 – Percepção da poluição ambiental por domicílio

<b>Poluição ambiental (geral)</b>	<b>percebe</b>	<b>não percebe</b>	<b>Total</b>
<b>domicílios próximos</b>	38	2	40
<b>domicílios distantes</b>	15	32	47

A população que reside próximo das indústrias de cal tem maior percepção da poluição do ar causada pelas indústrias e faz espontaneamente menção dessa poluição quando foi perguntado sobre o assunto de maneira aberta. No caso dos moradores próximos da indústria de cal do ponto B de amostragem, dos quarenta domicílios entrevistados, em trinta e oito os moradores percebiam a poluição ambiental como sendo do ar e relacionavam essa poluição com algum prejuízo à sua saúde.

Por outro lado, na localidade distante desse ponto B, apenas quinze dos quarenta e sete domicílios entrevistados referiam algum tipo de poluição e apareceram respostas variadas como o lixo jogado em terrenos vazios, poeira das ruas não pavimentadas e valetas abertas com descarga de esgoto domiciliar. Em nenhum desses domicílios mencionou-se a poluição do ar pelas indústrias de cal, demonstrando que apenas os moradores próximos têm a percepção das emissões daquelas indústrias e sofrem as suas conseqüências diretas.

Portanto, com a aplicação do questionário foi possível demonstrar inequivocamente uma maior incidência de sintomas respiratórios na população residente nas proximidades da indústria de cal do centro de Colombo bem como que essa população tem percepção da poluição ambiental atmosférica decorrente da atividade dessas indústrias e reconhece que está sendo prejudicada em sua saúde, mas permanece ali morando por circunstância de contingência.

## 5 CONCLUSÕES

A partir da presente pesquisa de caracterização do material particulado do ar do centro de Colombo é possível afirmar que o material particulado encontrado é atribuível à ação antrópica da produção industrial de cal, que é intensa nessa localidade, o que ficou demonstrado pelo cálculo do fator de enriquecimento. As maiores concentrações de partículas foram encontradas no ponto B, que corresponde à proximidade de uma indústria que não dispõe de sistema de filtros e onde há maiores concentrações dos elementos Ca e Mg provenientes da matéria prima utilizada pela indústria de cal (a rocha calcária dolomítica). No ponto A, onde a indústria está cumprindo um termo de ajuste de conduta (TAC) em relação à legislação ambiental para reduzir a emissão de material particulado, a concentração encontrada foi expressivamente menor, indicando eficácia das medidas tomadas como a instalação de filtros nos fornos de cal e pavimentação do pátio de manobra e tráfego dos caminhões.

Com relação à saúde humana podemos afirmar que a população de Colombo residente próximo das indústrias de cal sofre exposição ao material particulado emitido pelas mesmas. Através de um modelo computacional de simulação de deposição pulmonar concluímos que o material particulado presente no ar do centro de Colombo pode penetrar em todos os níveis do trato respiratório da população exposta. Tal exposição está epidemiologicamente relacionada com os resultados obtidos pelas entrevistas realizadas junto aos moradores que apresentaram uma maior incidência de sintomas respiratórios em comparação com moradores de uma localidade mais distante dessas indústrias. Essa maior incidência foi confirmado pela aplicação de dois testes estatísticos, qui-quadrado e teste t de Student para proporções de amostras independentes com intervalo de confiança de 95% que demonstraram resultados estatisticamente significativos a favor da relação de causalidade entre a exposição ao material particulado e os sintomas apresentados.

Os resultados de concentração do material particulado obtidos com a presente pesquisa evidenciaram valores absolutos dentro dos limites estabelecidos pela resolução 003/90 do CONAMA. Entretanto, podemos formular a hipótese que a poluição atmosférica por material particulado em suspensão proveniente da atividade industrial da produção de cal, ainda que dentro dos limites legais vigentes atualmente, pode estar implicada com a maior incidência de morbidade hospitalar por problemas respiratórios e maior coeficiente de mortalidade por doenças pulmonares presentes na população de Colombo, quando comparado com outro município metropolitano de características semelhantes.

Futuras pesquisas poderão esclarecer a total influência do material particulado para a saúde humana em Colombo. Entretanto, pelo princípio da precaução e proteção à saúde humana, devem ser tomadas de imediato todas as medidas possíveis para redução do risco a que a população de Colombo está exposta atualmente. Para tanto são necessárias ações de gerenciamento ambiental para todas as indústrias de cal do município supervisionadas pelo órgão ambiental competente, bem como empenho da administração pública no sentido de buscar recursos para pavimentação das ruas, para se alcançar o objetivo de redução de riscos à saúde da população.

## 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAHAMSON P W. **Soils: their implications to human health**. Science Total Environment 291: pg.1–32, 2002.

ALFOLDY B., BALASH I., HOFMANN W., AND WINKLER-HEIL R. **EPMA and XRF characterization of therapeutic cave aerosol particles and their deposition in the respiratory system**. X-Ray Spectrom. 2002; 31: 363–367 Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/xrs.588

ALMEIDA I. T. **A poluição Atmosférica por Material Particulado na Mineração a Céu Aberto**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, 1999.

ALGRANTI A., CAPITANI E. M. **Doenças Ocupacionais Respiratórias**. Apud LOPES A. C. **Tratado de Clínica Médica**. São Paulo: Roca, 2006.

ARTAXO P., STORMS H., BRUYNSEELS F., VAN GRIEKEN R., MAENHAUT W. **Composition and sources of aerosols from the Amazon Basin**. Journal of Geophysical Research (ISSN 0148-0227), vol. 93, Feb. 20, 1988, p. 1605-1615.

BATES R.L. and JACKSON J.A. **Glossary of Geology**. American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 788 pg., 1987.

BEAUFORD W., BARBER J. and BARRINGER A. **Release of particles containing metals from vegetation into the atmosphere**. Science, 195 pg.571, 1977.

BERNARD P. **Automated Electron Probe X-ray Microanalysis combined with Multivariate Analysis for Application in Marine Research**. Ph.D. Thesis, University of Antwerp, Antwerp, Belgium, 1989.

BETEKHTIN A. **A Course of Mineralogy**. Peace Publishments, Moscow, 1965.

- BERGMANN R., HOFMANN W., FLEMING J. S., CONWAY J. H. **Simulation of three-dimensional particle deposition patterns**. J. Aerosol Sci. 1998; 29: 947.
- BONDARENKO I., TREIGER B., VAN GRIEKEN R., VAN ESPEN P. **IDAS: a Windows based software package for cluster analysis**. Spectrochim Acta B51: 441-456, 1996.
- BOYNTON, R. S. **Chemistry and Technology of Lime and Limestone**. 2nd Ed. New York, John Wiley & Sons. 1980.
- BRANCO S. M., MURGEL E. **Poluição do Ar**. São Paulo: Moderna, 1995.
- CALLEGARI-JACQUES S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. 1ª.ed. Porto Alegre: ArtMed, 2003.
- CAMARGO, A. L. B. **Desenvolvimento Sustentável: dimensões e desafios**. Campinas-SP: PAPIRUS, 2003.
- CARVALHO M. S. **Breve histórico sobre as teorias da influência do ambiente sobre os homens**. (S.l.) [2000]. Disponível em:  
<http://www.geocities.com/pensamentobr/Influencia.pdf#search=%22Ares%2C%20%C3%81guas%20e%20Lugares%20hipocrates%22> Acessado em 30 de setembro de 2006.
- CASTANHO A. D. A. **A determinação Quantitativa de Fontes de Material Particulado na Atmosfera da Cidade de São Paulo**. 140 páginas. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1999.
- CASTRO, H. A., VICENTIN, G. e PEREIRA, K. C. X. **Mortalidade por pneumoconioses nas macrorregiões do Brasil no período de 1979-1998**. J. Pneumologia, mar./abr. 2003, vol.29, no.2, p.82-88.
- CASTRO, H A, SILVA, C and VICENTIN, G. **Hospital admissions due to pneumoconioses in Brazil, 1984-2003**. Rev. bras. epidemiol., June 2005, vol.8, no.2, p.150-160.

CHARLSON R.J., COVERT D.S., LARSON T.V. and WAGGONER A.P. **Chemical properties of tropospheric sulphur aerosols**. Atmos. Environ., 12, 39-53. 1978.

CHARLSON R.J. and WIGLEY T.M.L. **Sulphate aerosol and climate change**. Scientific American, 28-35. 1994.

CHEN, Y.; SHAH. N.; HUGGINS, F. E.; HUFFMAN G. P.; DOZIER, A. **Characterization of ultrafine coal fly ash particles by energy-filtered TEM**. Journal of Microscopy (2005) 217 (3), 225–234.

CRUMP E. L. **Lime Production: Industry Profile**. U.S. Environmental Protection Agency – EPA, Air Quality Standards and Strategies Division Office of Air Quality Planning and Standards Innovative Strategies and Economics Group MD-15, Research Triangle Park, NC 27711, 2000.

CID-10/ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde** -. Décima Revisão; tradução do Centro Colaborador da OMS para a Classificação de Doenças em Português. 8<sup>a</sup>. ed.- São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CNUMAD. **Agenda 21**. 2<sup>a</sup>. ed. Brasília (DF): Senado Federal; 1997.

DATASUS – BANCO DE DADOS DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. Disponível em <http://www.datasus.gov.br>. Acessado em 12 de outubro de 2006.

D'ALMEIDA G.A., KÖPKE P. and SHETTLE E.P. **Atmospheric Aerosols: Global Climatology and Radiative Characteristics**. Deepak, Hampton, USA. 1991.

DUCE R., HOFFMAN, G., RAY, B., FLETCHER, I., WALLACE, G., FASCHING, J., PIETROWICZ, S., WALSH, P., HOFFMAN, E., MILLER, J., and HEFFTER, J. **Trace metals in the marine atmosphere: Sources and fluxes**, in H. WINDOM and R. DUCE (eds.), Marine Pollution Transfer. Lexington Books, Lexington, Massachusetts, 1976.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY –EPA CFR Part 63. **National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Lime Manufacturing Plants; Final Rule.**

Federal Register / Vol. 69, No. 2 / Monday, January 5, 2004 / Rules and Regulations

Ganor E., Levin Z. and Van Grieken R. (1998) Composition of individual aerosol particles above the Israelian Mediterranean coast during the summer time. *Atmos. Environ.*, 32, 9, 1631-1642.

GODOI R. H. M., GODOI A. F. L., WOROBIEC N., ANDRADE S. J, DE HOOG J., SANTIAGO-SILVA M. R. and VAN GRIEKEN R. **Characterisation of Sugar Cane Combustion Particles in the Araraquara Region, Southeast Brazil.** *Microchim. Acta* 145, 53-56, 2004.

GERÊNCIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL - GEPAM - **Galossário Ambiental.**

Florianópolis, 2006. Disponível em: [http://www.sds.sc.gov.br/download\\_dima.htm#GEPAM](http://www.sds.sc.gov.br/download_dima.htm#GEPAM).

Acessado em 01/10/2006.

GOMES, L.; GILLETTE, D. A. **Comparison of characteristics of aerosol from dust storms in Central Asia with soil-derived dust from other regions.** *ATMOS ENVIRON PART A GER TOP.* Vol. 27A, no. 16, pp. 2539-2544. 1993

GOMES M. **Pneumologia.** Apud LOPES A. C. *Tratado de Clínica Médica.* São Paulo: Roca, 2006.

GORDON, R. **A assustadora história da medicina.** 9<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 1977.

GUSMÃO, H. H. et al. **Contribuição para o estudo da silicose nas indústrias urbanas paulistas,** *Rev. paul. Tisiol.*, 17:347-553, 1956.

HOORNAERT S., GODOI R. H.M. AND VAN GRIEKEN. **Elemental and Single particle Aerosol Characterisation at a Background Station in Kazakhstan.** *Journal of Atmospheric Chemistry* XXX: 1-15. 2004.

HOPKE Ph. K. **Receptor Modelling in Environmental Chemistry**. John Wiley and Sons, New York, 319 pg.,1985.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ- IAP. **Monitoramento da qualidade do ar em Curitiba e Região Metropolitana em 2006**. Disponível em <http://www.iap.pr.gov.br>. Acessado em 12 de outubro de 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA-IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 12 outubro de 2006.

KALACIC, I. **Chronic nonspecific lung disease in cement workers**. Arch, environ. Hlth, 26(2):78-83, 1973.

KATRINAK K.A., ANDERSON J.R. and BUSECK P.R. **Individual particle types in the aerosol of Phoenix, Arizona**. Environ. Sci. Technol., 29, 321-329, 1995.

KATRINAK K.A. and ZYGARLICHE C.J. **Size-related variations in coal fly ash compositions as determined using automated scanning electron microscopy**. Fuel Processing Technology, 44, 71-79, 1995.

KOBLINGER, L.; HOFMANN, W. **Monte Carlo modeling of aerosol deposition in human lungs**. J. Aerosol Sci. 1990. 21:661-674.

LEE, D.S. & PACYNA, J.M. **An industrial emissions inventory of calcium for Europe**. Atmospheric Environment (1999) 33 p. 1687-1697.

MAMANE Y. and NOLL K.E. **Characterisation of large particles at a rural site in the eastern United States: mass distribution and individual particle analysis**. Atmos. Environ., 19, 611-622, 1985.

MASON B. **Principles of Geochemistry**. Wiley & Sons, New York, 329 pg.,1966.

MATTHIAS-MASER S. and JAENICKE R. **Examination of atmospheric bioaerosol particles with radii >0.2  $\mu\text{m}$** . J. Aerosol Science, 25, 1605-1613, 1994.

- MATTHIAS-MASER S. and JAENICKE R. **The size distribution of primary biological aerosol particles with radii >0.2  $\mu\text{m}$  in an urban/rural influenced region.** Atmos. Research, 39, 279-286, 1995.
- SAUCY D.A., ANDERSON J.R. and BUSECK P.R. **Aerosol particle characteristics determined by combined cluster and principal component analysis.** J. Geophys. Res., 96, D4, 7407-7414, 1991.
- MAENHAUT, W., CORNILLE, P., PACYNA, J.M., and VITOLS, V. **Trace element composition and origin of the atmospheric aerosol in the Norwegian Arctic,** Atmos. Environ. 23, 2551-2569, 1989.
- MENDES, R. **An epidemiologic study of silicosis in the Southeast Region of Brazil, from a survey of patients in tuberculosis hospitals.** Rev. Saúde Pública, Mar., vol.13, no.1, p.7-19, 1979.
- MENDES, R. **The impact of occupation on workers' health: I - Morbidity.** Rev. Saúde Pública, Aug., vol.22, no.4, p.311-326, 1988.
- MENDES R. **Patologia do trabalho.** Belo Horizonte. Editora Atheneu, 1997.
- MINERVINO, D. M. et al. **A silicose pulmonar nas indústrias de São Paulo.** In: Congresso Americano de Medicina do Trabalho, São Paulo. Anais. São Paulo, 1964. p. 268-80, 1964.
- MINEROPAR- MINÉRIOS DO PARANÁ S/A. Disponível em <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Acessado em 12 de outubro de 2006.
- MOLNAR, A., MESZAROS, E., BOZO, L., BORBELY-KYSS, I., KOLTAY, E., and SZABO, G. **Elemental composition of the atmospheric aerosol particles under different conditions in Hungary.** Atmos. Environ. 27A, 2457-2461, 1993.
- MORGAN, W. K. C. & SEATON, A. — **Occupational Lung diseases.** Philadelphia, Saunders, 1975.

MORGAN, W.K.C. **Industrial bronchitis and other nonspecific conditions affecting the airways**. In: Morgan, W.K.C. & Seaton, A. Occupational lung diseases. 2nd ed. Philadelphia, Saunders, 1984. p. 521-40.

NOBRE, M., AMAZONAS, M.C. (organizadores). **Desenvolvimento Sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília; Edições IBAMA, 2002.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO-FUNDACENTRO. **Leitura Radiológica das Pneumoconioses**. São Paulo, Fundacentro, 1990.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Air quality guidelines**. Genebra, 1999. Disponível em: <http://www.who.int/peh/air/airindex.htm>. Acessado em 12 de outubro de 2006.

PHILIPPI Jr, A. editor. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri-SP: Manole, 2005.

PETERS A. **Aerosol particles increase the risk of cardiovascular diseases**.

Gesundheitswesen 67: S79-S85 Suppl. 1, AUG 2005.

POST J. E. AND BUSECK P. R. **Characterization of Individual Particles in the Phoenix Urban Aerosol Using Electron-Beam Instruments**. Environ. Sci. Technol. 1984, 18, 35-42

RAABE OG, YEH HC, SCHUM GM, PHALEN RF. **Models of human lung airways and their application to inhaled particle deposition**. Lovelace Foundation Report 1980; LF-53

RO C-U., OSAN J., VAN GRIEKEN R. **A Monte Carlo Program for Quantitative Electron-Induced X-ray Analysis of Individual Particles**. Anal Chem 15 ; 851-859, 2003.

ROJAS C., ARTAXO P. and VAN GRIEKEN R. **Aerosols in Santiago de Chile: a study using receptor modelling with X-ray fluorescence and single particle analysis**. Atmos. Environ., 24B, 227-241, 1990.

SENNETT, R. **Carne e Pedra**, Rio de Janeiro, Ed. Record, 1997

SOUZA, V. F.; QUELHAS, O. L. G. **Avaliação e controle da exposição ocupacional à poeira na indústria da construção**. Ciênc. saúde coletiva., Rio de Janeiro, v. 8, n. 3,

2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>. Acesso em: 22 Out 2006. doi: 10.1590/S1413-81232003000300014.

TARANTINO A. B. **Doenças Pulmonares**. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A.: **A qualidade do ar em Juiz de Fora - MG** / Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora – MG, 2006.

Disponível em: <http://www.labcaa.ufjf.br/qualidadedoar.htm>. Acessado em 01/10/2006.

VAN BORM, W.A.; ADAMS, F.C. **Cluster analysis of electron microprobe analysis data of individual particles for source apportionment of air particulate matter**. Atmospheric Environment [ATMOS. ENVIRON.]. Vol. 22, no. 10, pp. 2297-2307. 1988.

VAN BORM W.A., ADAMS F.C. and MAENHAUT W. **Characterisation of individual particles in the Antwerp aerosol**. Atmos. Environ., 23, 5, 1139-1151, 1989.

VAN MALDEREN H., VAN GRIEKEN R., BUFETOV N.V. and KOUTZENOGII K.P. **Chemical characterisation of individual aerosol particles in Central Siberia**. Environ. Sci. Technol., 30, 1, 312-321. (1996a).

VAN MALDEREN H., VAN GRIEKEN R., KHODZHER T., OBOLKIN V. AND POTEMKIN V. **Composition of individual aerosol particles above Lake Baikal, Siberia**. Atmos. Environ., 30, 9, 1453-1465. (1996b).

VAN GRIEKEN R.-**Speciation of selected metals in aerosol samples by TXRF after sequential leaching**.- In: X-ray spectrometry, 35:4 p. 226-231, 2006.

VEKEMANS, B., JANSSENS, K., VINCZE, L., ADAMS, F., and VAN ESPEN, P. **Analysis of X-ray spectra by iterative least squares (AXIL): New developments**, X-Ray Spectron. 23, 278-285, 1994.

WEST J. B. **Fisiopatologia Pulmonar Moderna**. 4ª. Ed. São Paulo; Manole, 2004.

WYNGAARDEN JB, Smith LH & Bennett JC. **Tratado de Medicina Interna**. Rio de Janeiro; Editora Guanabara Koogan, 1993.

XHOFFER C., BERNARD P. AND VAN GRIEKEN R. **Chemical characterisation and source apportionment of individual aerosol particles over the North Sea and the English Channel using multivariate techniques.** Environ. Sci. Technol., 25, 1470-1478, 1991.

XHOFFER C., WOUTERS L., ARTAXO P., VAN PUT A. AND VAN GRIEKEN R.

**Characterisation of individual environmental particles by beam techniques.** In:

Environmental Particles, vol 1 (J. Buffle and H.P. van Leeuwen, eds.). Lewis Publishers,

London,1992.

## ANEXOS

### **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003, de 28 de junho de 1990**

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o inciso II, do Art. 6º, da Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989, e tendo em vista o disposto na Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990, Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990 e,

Considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País;

Considerando que a Portaria GM 0231, de 27.04.76, previa o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito;

Considerando o previsto na Resolução CONAMA nº 05, de 15.06.89, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar "PRONAR, RESOLVE:

Art. 1º - São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo Único - Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança. ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Art. 2º - Para os efeitos desta Resolução ficam estabelecidos os seguintes conceitos:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo Único - Os padrões de qualidade do ar serão o objetivo a ser atingido mediante à estratégia de controle fixada pelos padrões de emissão e deverão orientar a elaboração de Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar.

Art. 3º - Ficam estabelecidos os seguintes Padrões de Qualidade do Ar:

I - Partículas Totais em Suspensão

a) Padrão Primário

1 - concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) micro gramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

II - Fumaça

a) Padrão Primário

1 -concentração média aritmética anual de 60 (sessenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 -concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida uma de urna vez por ano.

III - Partículas Inaláveis

a) Padrão Primário e Secundário

1- concentração média aritmética anual de 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

IV - Dióxido de Enxofre

a) Padrão Primário

1- concentração média aritmética anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2- concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

b) Padrão Secundário

1 - concentração média aritmética anual de 40 (quarenta) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de,100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

V - Monóxido de carbono

a) Padrão Primário e Secundário

1- concentração média de 8 (oito) horas de 10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico de ar (9 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico de ar (35 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VI - Ozônio

a) Padrão Primário e Secundário

1 - concentração média de 1 (uma) hora de 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico do ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

VII - Dióxido de Nitrogênio

a) Padrão Primário

1 - concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 320 (trezentos e vinte) microgramas por metro cúbico de ar.

b) Padrão Secundário

1- concentração média aritmética anual de 100 (cem) microgramas por metro cúbico de ar.

2 - concentração média de 1 (uma) hora de 190 (cento e noventa) microgramas por metro cúbico de ar.

Art. 3º - Ficam estabelecidos os seguintes métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos a serem definidos nas respectivas Instruções Normativas:

- a) Partículas Totais em Suspensão - Método de Amostrador de Grandes Volumes ou Método Equivalente.
- b) Fumaça - Método da Refletância ou Método Equivalente.
- c) Partículas Inaláveis - Método de Separação Inercial/Filtração ou Método Equivalente.
- d) Dióxido de Enxofre - Método de Pararonsilina ou Método Equivalente.
- e) Monóxido de Carbono - Método do Infra-Vermelho não Dispersivo ou Método Equivalente.
- f) Ozônio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.
- g) Dióxido de Nitrogênio - Método da Quimioluminescência ou Método Equivalente.

§ 1º - Constitui-se Método de Referência, os métodos aprovados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e na ausência deles os recomendados pelo IBAMA como os mais adequados e que deva ser utilizado preferencialmente.

§ 2º - Poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA.

§ 3º - Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

Art. 4º - O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos Estados.

Art. 5º - Ficam estabelecidos os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de Estado e dos Municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

§ 1º - Considera-se Episódio Crítico de Poluição do Ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

§ 2º - Ficam estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência, para a execução do Plano.

§ 3º - Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio, bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados.

§ 4º - As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de Atenção e de Alerta tem por objetivo evitar o atingimento do Nível de Emergência.

§ 5º - O Nível de Atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

1. concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
2. concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
3. produto, igual a  $65 \times 10^3$ , entre a concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
4. concentração de monóxido de carbono (CO), média de 08 (oito) horas, de 17.000 (dezesete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);
5. concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora. de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico;
6. concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinqüenta) microgramas por metro cúbico;
7. concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinqüenta) microgramas por metro cúbico.
8. concentração de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), média de 1 (uma) hora, de 1130 (hum mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

§ 6º - O Nível de Alerta será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

1. concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), média de 24 (vinte e quatro) horas, 1.600 (hum mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;
2. concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico;
3. produto, igual a  $261 \times 10^3$ , entre a concentração de dióxido de enxofre(SO<sub>2</sub>) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
4. concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico (30 ppm);
5. concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora. de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
6. concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.
7. concentração de fumaça. média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico.
8. concentração de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), média de 1(urna) hora de 2.260 (dois mil, duzentos e sessenta) microgramas por metro cúbico:

§ 7º - O nível de Emergência será declarado quando prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

1. concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>); média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;
2. concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
3. produto, igual a 393 x 103, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
4. concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico (40 ppm);
5. concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora de 1.000 (hum mil) microgramas por metro cúbico;
6. concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
7. concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;
8. concentração de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), média de 1 (uma) hora de 3.000 (três mil) microgramas por metro cúbico.

§ 8º - Cabe aos Estados a competência para indicar as autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis, devendo as declarações efetuar-se por qualquer dos meios usuais de comunicação de massa.

§ 9º - Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental.

Art. 6º - Outros Padrões de Qualidade do Ar para poluentes, além dos aqui previstos, poderão ser estabelecidos pelo CONAMA, se isto vier a ser julgado necessário.

Art. 7º - Enquanto cada Estado não deferir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no item 2, subitem 2.3, da Resolução CONAMA nº 005/89, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos nesta Resolução.

Art. 8º - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

**QUESTIONÁRIO****PESQUISA DA PREVALÊNCIA DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS  
POR ENTREVISTAS DOMICILIARES****Localização:****Número de moradores do domicílio:****Idades dos moradores:****Alguém trabalha fora? Qual é o tipo de atividade?****Questões:****1. Alguém apresenta tosse na sua casa ?****( ) SIM      ( ) NÃO****Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?****2. Alguém apresenta falta de ar?****( ) SIM      ( ) NÃO****Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?****3. Alguém apresenta “chio” do peito?****( ) SIM      ( ) NÃO****Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?****4. Alguém apresenta expectoração de catarro?****( ) SIM      ( ) NÃO****Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?****Quantas pessoas? ( )****5. Alguém já ficou internado em hospital por doença  
do pulmão no último ano?****( ) SIM      ( ) NÃO****Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?****6. Alguém se queixa de irritação nos olhos com frequência?****( ) SIM      ( ) NÃO****Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?**

**7. Alguém se queixa de irritação no nariz com frequência?**

SIM       NÃO

Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?

**8. alguém apresenta nariz “trancado” com frequência?**

SIM       NÃO

Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?

**9. Alguém se queixa de dor de cabeça com frequência?**

SIM       NÃO

Quantas pessoas? ( ) Qual a idade?

#### **Questões abertas**

**11. Você identifica algum tipo de poluição ambiental ao seu redor?**

---

---

**12. Essa poluição afeta diretamente a sua vida cotidiana?**

---

---